



Esta obra está bajo una [Licencia  
Creative Commons Atribución-  
NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú.](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/)

Vea una copia de esta licencia en  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO**

**FACULTAD DE ECOLOGÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**TESIS**

**“TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS POR  
FITORREMEDIACIÓN CON *EICHORNIA CRASSIPES* EN LA ZONA  
RURAL DEL CASERÍO SANTA CATALINA MOYOBAMBA 2017.”**

**PRESENTADO POR**

**Bach. Kelith Liliana Perales Vasquez**

**ASESOR**

**Blgo. M.Sc. Luis Eduardo Rodríguez Pérez**

**Código: 6054616**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**MOYOBAMBA - PERÚ**

**2018**

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO

## FACULTAD DE ECOLOGÍA

### ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



#### TESIS

**“Tratamiento de aguas residuales domésticas por fitorremediación con *Eichornia Crassipes* en la zona rural del caserío Santa Catalina Moyobamba 2017.”**

#### PRESENTADO POR

**Bach. Kelith Liliana Perales Vasquez**

**Sustentado y aprobado ante el honorable jurado el día 02 de abril del 2018.**

.....  
**Lic. Dr. Fabián CENTURIÓN TAPIA**  
Presidente

.....  
**Ing. M.Sc. Mirtha Felicita VALVERDE VERA**  
Secretario

.....  
**Ing. M. Sc. Gerardo CÁCERES BÁRDALEZ**  
Miembro

.....  
**Blgo. M.Sc. Luis Eduardo RODRÍGUEZ PÉREZ**  
Asesor

## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, **Kelith Liliana Perales Vasquez**, identificada con DNI N°47440470, egresada de la Facultad de Ecología, en la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la tesis titulada **“Tratamiento de aguas residuales domésticas por fitorremediación con *Eichornia crassipes* en la zona rural del Caserío Santa Catalina Moyobamba 2017.”**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.  
Por tanto, la tesis no ha sido plagiada no total ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido auto plagiada; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presenten en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otra persona de forma falsa), entre otros, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Moyobamba, 16 de abril del 2018.



**Kelith Liliana Perales Vasquez**

DNI N°: 47440470





**Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis**

**1. Datos del autor:**

Apellidos y nombres:	Perales Vasquez Kelith Liliana		
Código de alumno :	125113	Teléfono:	978183770
Correo electrónico :	kperalesvasquez@gmail.com	DNI:	47440470

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

**2. Datos Académicos**

Facultad de:	Ecología
Escuela Profesional de:	Ingeniería Ambiental

**3. Tipo de trabajo de investigación**

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	( )
Trabajo de suficiencia profesional	( )		

**4. Datos del Trabajo de investigación**

Título :	"Tratamiento de aguas residuales domesticas por Fitorremediación con Eichornia crassipes en la zona rural del caserio Santa Catalina Moyobamba 2017"
Año de publicación:	2018

**5. Tipo de Acceso al documento**

Acceso público *	(X)	Embargo	( )
Acceso restringido **	( )		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:


**6. Originalidad del archivo digital.**

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

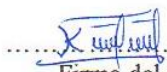
## 7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI “**Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA**”.

  
Firma del Autor

## 8. Para ser llenado en el Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto.

Fecha de recepción del documento por el Sistema de Bibliotecas:

20 / 04 / 2018



Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología  
e Innovación de Acceso Abierto

**\*Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**\*\* Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

## **DEDICATORIA**

Dedico este peldaño de mi vida a Dios por su infinito amor, por permitirme realizar mis sueños y por la sabiduría para enfrentar los retos de la vida.

A mis padres: sr. Teófilo Perales Cotrina y Sra. Elena Vasquez Coronel ya que sin su apoyo no habría sido sencillo lograr mis objetivos profesionales, por brindarme sus sabios consejos para tomar decisiones firmes en todas las etapas de mi vida.

A mis hermanos Hilda, Gilmer, Edwin y Juliana por el apoyo incondicional y a mis amigas Tania y Kelita por acompañarme siempre.

## **AGRADECIMIENTO**

- El presente trabajo de tesis primeramente me gustaría agradecerte a ti Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.
- A mis padres y hermanos, por ser las personas que nunca perdieron la confianza de mis capacidades, y por el gran amor que me demuestran día a día.
- A mi alma mater, Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, y docentes, por forjarnos como verdaderos profesionales, a cada uno de ellos mi especial agradecimiento y estima personal, por darme la oportunidad de realizar mi formación profesional dentro de las aulas, permitiendo así mi superación académica y profesional.
- A mi asesor de tesis Blgo. M.Sc Luis Eduardo Rodríguez Pérez, por sus conocimientos, recomendaciones a lo largo de la elaboración y revisión de la presente tesis hasta la finalización de este proyecto.
- A mis amigos de la Universidad, que me apoyaron para obtener más facilidades durante el desarrollo de la investigación.



## INDICE

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>vi</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>vii</b>
<b>INDICE .....</b>	<b>viii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xiii</b>
<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>3</b>
1.1. Antecedentes de la investigación .....	3
1.1.1. Internacional .....	3
1.1.2. Nacional.....	4
1.2. Bases teóricas. ....	5
1.2.1. Características físicas del agua residual domestica .....	8
1.2.2. Características químicas. ....	10
1.2.3. Características biológicas del agua residual domestica .....	12
1.2.4. Fitorremediación por <i>Eichornia crassipes</i> .....	12
1.2.5. Ley N° 28611 Ley general del ambiente .....	17
1.2.6. Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos .....	18
1.2.7. Definición de términos básicos.....	21
<b>CAPITULO II .....</b>	<b>23</b>
2.1. Materiales .....	23
2.2. Métodos.....	24
2.2.1. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	28
2.2.2. Software utilizado para el procesamiento y análisis de datos. ....	28
2.2.3. Procesamiento de datos. ....	29
2.2.4. Análisis de datos. ....	29
<b>CAPITULO III.....</b>	<b>30</b>
3.1. Resultados. ....	30
3.1.1. Diseño del sistema de fitorremediación de las aguas residuales domésticas. ....	30
3.1.2. Remoción de los contaminantes físicos y químicos de las aguas residuales domésticas. ....	31

3.1.3. Resultados de monitoreo de los parámetros físicos y químicos .....	36
3.1.4. Contrastación de la hipótesis. ....	38
3.2. Discusión de resultados.....	44
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>45</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>46</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>47</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>51</b>
Anexo A: Ficha técnica de recolección de datos pH .....	51
Anexo B: Ficha técnica de recolección de datos temperatura .....	51
Anexo C: LMP para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas.....	52
Anexo D: Resultados de sólidos totales EPS-Moyobamba. ....	52
Anexo E: Formatos físicos de resultado de laboratorio del agua Cajamarca. ....	53
Anexo F: Panel fotográfico .....	59
Anexo G: Plano de ubicación.....	63

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Limites máximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales .....	20
<b>Tabla 2:</b> Monitoreo semanal de temperatura .....	37
<b>Tabla 3:</b> Monitoreo semanal de pH.....	37
<b>Tabla 4:</b> Monitoreo de solidos totales.....	37
<b>Tabla 5:</b> Resultado del primer, segundo y tercer análisis de DBO, DQO, aceites y grasas. .....	38
<b>Tabla 6:</b> ANOVA para temperatura.....	38
<b>Tabla 7:</b> ANOVA pH.....	38
<b>Tabla 8:</b> ANOVA sólidos totales.....	39
<b>Tabla 9:</b> ANOVA DQO <sub>5</sub> .....	39
<b>Tabla 10:</b> ANOVA DQO.....	39
<b>Tabla 11:</b> Aceites y Grasas .....	40

## INDICE DE FIGURA

<b>Figura 1:</b> Diseño de fitorremediación.....	31
<b>Figura 2:</b> Muestra de agua antes y después de tratamiento. ....	35
<b>Figura 3:</b> Desarrollo evolutivo de especie en tres (03) estadios, antes durante, después y su capacidad de absorción de contaminantes físicos y químicos.....	36
<b>Figura 4:</b> Variación del primer resultado DBO, DQO, aceites y grasas (poza 01, 02, 03)	40
<b>Figura 5:</b> Variación del ultimo resultado DBO, DQO, aceites y grasas (poza 01,02,03)..	41
<b>Figura 6:</b> variación del primer y último resultado de solidos totales (poza 01,02,03).....	42

## RESUMEN

El vertimiento de aguas residuales sin un tratamiento previo al medio ambiente, se vuelve un panorama común en nuestro país. Por tal motivo el tratamiento de aguas residuales se hace cada día más importante no solo con la finalidad de reducir la carga contaminante de las aguas, si no el de emplear nuevas tecnologías que nos permitan obtener sub productos propios de procesos de depuración de aguas que sean económicamente aprovechables. Con la finalidad de aplicar solución a este problema ambiental se ejecutó esta investigación.

El objetivo general fue: Determinar la contribución de la fitorremediación con *Eichornia crassipes* en el tratamiento de las aguas residuales domésticas en la zona rural caserío Santa Catalina; así como diseñar y aplicar un sistema de Fitorremediación de las aguas residuales domésticas de cocina como tecnología ambiental y Evaluar la remoción de los contaminantes físicos y químicos de las aguas residuales domésticas.

Respecto a la temperatura del lecho acuático se mantiene estable, el promedio de la temperatura registradas en las tres pozas es de 28,6°C, se registra un pH neutro en todas las pozas muestreadas. Parámetros químicos (DBO<sub>5</sub>, DQO y Aceites y Grasas) se realizaron 3 muestreos antes de sembrado las plantas a los 40 días y 86 días. Los resultados en la remoción de DBO<sub>5</sub> pozo 01 es de 95,24 %, pozo 02 es de 94,46 % y pozo 03 es de 94,44 %. DQO pozo 01 es de 93,03 %, pozo 02 es de 92,76% y pozo 03 es de 92,69%. Aceites y grasas pozo 01 es de 94,41 %, pozo 02 es de 94,82 % y pozo 03 es de 94,91. En la investigación realizada demuestra que esta especie presenta una aclimatación adecuada, además de una respuesta altamente positiva a las condiciones ambientales que se le ajusten o instalen. El tratamiento fue muy efectivo para el control de la contaminación de aguas residuales domesticas en el caserío Santa Catalina.

**Palabras Claves:** Fitorremediación, aguas residuales doméstica, DBO<sub>5</sub>, DQO, *Eichornia crassipes*



## ABSTRACT

The dumping of wastewater without prior treatment to the environment, becomes a common scenario in our country. For this reason the treatment of wastewater is becoming increasingly important not only with the aim of reducing the pollutant load of the water, but also the use of new technologies that allow us to obtain sub-products from water purification processes that are economically usable. In order to apply a solution to this environmental problem, this investigation was carried out.

The general objective was: To determine the contribution of phytoremediation with *Eichornia crassipes* in the treatment of domestic wastewater in the rural area of Santa Catalina farmhouse; as well as design and apply a system of Phytoremediation of domestic wastewater as an environmental technology and evaluate the removal of physical and chemical contaminants from domestic wastewater.

Regarding the temperature of the aquatic bed, it remains stable, the average of the temperature recorded in the three pools is 28.6 ° C, a neutral pH is registered in all the pockets sampled. Chemical parameters (BOD5, COD and Oils and Fats) were sampled 3 times before planting at 40 days and 86 days. The results in the removal of BOD5 well 01 is 95.24%, well 02 is 94.46% and well 03 is 94.44%. COD well 01 is 93.03%, well 02 is 92.76% and well 03 is 92.69%. Oils and fats well 01 is 94.41%, well 02 is 94.82% and well 03 is 94.91. In the research carried out, it shows that this species presents an adequate acclimatization, in addition to a highly positive response to the environmental conditions that are adjusted or installed. The treatment was very effective in controlling the contamination of domestic wastewater in the Santa Catalina farmhouse.

Key Words: Phytoremediation, domestic wastewater, BOD5, COD, *Eichornia crassipes*



## INTRODUCCION

En la actualidad existen diversas técnicas propuestas para la rehabilitación de contaminantes (suelo, sedimento, agua, atmósfera, etc.). Estas tecnologías de remediación son muy variables, dependiendo de la matriz contaminada, la naturaleza de los contaminantes, el nivel de contaminación y la disponibilidad de los recursos. El análisis actual del estado de las técnicas de fitorremediación cuenta con un uso cada vez mayor en los países en desarrollo, lo que lleva a la reducción de costos, instalación, operación y monitoreo, debido a que el patrón de la evolución de las tecnologías de remediación, se centra en soluciones cada vez menos invasivas. Entre estas nuevas tecnologías que se están investigando, tenemos a la fitorremediación que hace uso de las plantas y sus microorganismos asociados, con el fin de tratar in situ aguas contaminadas. La macrofita *Eichhornia crassipes* “Jacinto de agua” es una especie tropical que pertenece a la familia Pontederiaceae, Es una planta acuática flotante conocida por su capacidad de producción y la eliminación de contaminantes del agua. Puede crecer en una amplia gama de temperatura de 1 a 40°C normalmente se produce en forma de densas esteras originando bloques que impiden la penetración de la luz para las plantas sumergidas.

La técnica de fitorremediación empleada para remover DBO<sub>5</sub>, DQO, aceites y grasas en aguas residuales domésticas, fue aplicada en nuestra investigación, empleando la especie *Eichhornia crassipes* “Jacinto de agua” debido a sus antecedentes de gran capacidad de absorción. Los resultados obtenidos son satisfactorios para esta técnica ya que demuestran una vez más la gran capacidad de absorción de parámetros físicos y químicos en la zona rural para un futuro proyecto de remoción de estos y otros parámetros. La problemática ambiental del caserío Santa Catalina es que no cuenta con un sistema de desagüe, y por ende todo el sistema de drenaje de aguas domésticas se infiltra al sub suelo contaminado aguas subterráneas, aguas superficiales (quebradas y ríos), huertos y en algunos casos se almacena en las calles provocando la proliferación de sancudos. ¿En qué medida es eficiente el tratamiento de aguas residuales domésticas por fitorremediación con *Eichhornia crassipes*, en el caserío Santa Catalina?

La ejecución se llevó a cabo en el caserío Santa Catalina que se encuentra ubicado en la margen izquierda del Río Mayo a 20 minutos de la provincia de Moyobamba dicho caserío está conformado por 50 viviendas aproximadamente generando 1562,5 L/día. El sistema de

fitorremediación se ubicó detrás de cada vivienda se construyó 3 pozos artificiales con dimensiones de 1m de ancho, 1 m de largo y 0.5m de profundidad. Cada pozo artificial se diseñó para almacenar 500 litros de agua residual, estos fueron llenados en 16 días. El sembrado de *Eichornia crassipes* se realizó una vez llenado los pozos, colocando 25 plantas por pozo. El periodo de monitoreo del sistema fue en 86 días, durante este tiempo se monitoreo los parámetros físicos y químicos. los parámetros químicos fueron evaluados en el laboratorio Regional de Cajamarca y los parámetros físicos in situ.

Los objetivos planteados fueron: Determinar la contribución de la fitorremediación con *Eichornia crassipes* en el tratamiento de las aguas residuales domésticas en la zona rural caserío Santa Catalina; así como diseñar y aplicar un sistema de fitorremediación de las aguas residuales domésticas de cocina en la zona rural del caserío Santa Catalina como tecnología ambiental y evaluar la remoción de los contaminantes físicos y químicos de las aguas residuales domesticas de cocina en la zona rural de Santa Catalina. Esto ha permitido mitigar los impactos negativos que genera el vertimiento de las aguas residuales sin ser tratadas.

En este sentido, la hipótesis de investigación propuesta es el tratamiento de aguas residuales domesticas de cocina por fitorremediación con *Eichornia crassipes*, en el caserío Santa Catalina es eficiente. La variable independiente (**x**): Fitorremediación por *Eichornia crassipes* y la variable dependiente (y): Tratamiento de las aguas residuales domesticas en la zona rural. La presente investigación consta de tres capítulos: Capítulo I: Revisión bibliográfica, Capítulo II: Material y métodos, capítulo III: Resultados y discusión.

En el primer capítulo se señalan algunos conceptos preliminares necesarios para la evolución a lo largo del informe haciendo mención en primer lugar a las aguas residuales domesticas sus propiedades físicas y químicas; en segundo lugar, las propiedades y características de la planta acuática; en tercer lugar, los parámetros y LMP que comprende el tratamiento de aguas residuales domésticas.

En el segundo capítulo se menciona los materiales utilizados en este proyecto, el método aplicado en la planta de tratamiento y las técnicas de procesamiento de datos para obtener los resultados

En el tercer capítulo se detalla las discusiones y resultados del sistema de fitorremediación con respecto a los parámetros físicos y químicos evaluados en dicha investigación.

Finalmente se detallas las conclusiones y recomendaciones de la investigación realizada.

# CAPITULO I

## REVISION BIBLIOGRAFICA

### 1.1. Antecedentes de la investigación

#### 1.1.1. Internacional

**Jaramillo y Flores (2012)** en su trabajo de investigación

*“fitorremediación mediante el uso de especies vegetales Lemna minor y Eichhornia Crassipes en aguas residuales producto de la actividad minera”*

la utilización de las macrofitas acuáticas *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* ofrece una alternativa a los métodos convencionales de desintoxicación de metales pesados como el mercurio, por lo que se puede utilizar como una herramienta efectiva y económica.

De acuerdo a la investigación realizada comprobó que la utilización de las macrofitas acuáticas para la absorción de mercurio es muy provechoso aplicarlo en la producción minera o en cualquier otra actividad por su bajo costo y por no presentar contaminación al ambiente.

En el proceso investigativo se ha determinado una pérdida en la cantidad de mercurio utilizada en los tratamientos que fue de 70.5% debido a la sedimentación del mismo de acuerdo al proceso investigativo se pudo determinar que la *Eichhornia crassipes* es la especie que representa mayor resistencia a la concentración de mercurio.

**López, (2012)**, en su trabajo de investigación *“Aprovechamiento del lechuguín (Eichhornia Crassipes) para la generación de abono orgánico mediante la utilización de tres diseños diferentes de biodigestores”*

En el análisis estadístico los resultados obtenidos nos proporcionaron un mayor índice de significancia para el biodigestor de bidón, lo que nos permite determinar que la materia utilizada que en este caso es el lechuguín se puede utilizar para la elaboración de abonos orgánicos, aparte de otros bio-productos resultantes de la digestión.

**Virendra, (2009)**, en el estudio realizado *“Acumulación de Cromo y zinc a partir de soluciones acuosas utilizando Eichhornia crassipes (Jacinto de agua)”*.

Muestra la investigación sobre *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) para la eliminación de cromo (Cr) y zinc (Zn) a partir de soluciones de cada metal, logrando eliminar hasta un 95 % de zinc y 84 % de cromo durante el período de incubación.

### 1.1.2. Nacional

**Poma, (2014)**, en su trabajo de investigación “*Estudio de los parámetros fisicoquímicos para la fitorremediación de cadmio (II) y mercurio (II) con la especie Eichhornia crassipes (Jacinto de agua)*”

Finalmente, el porcentaje de remoción de cadmio (II) y mercurio (II) en las soluciones a las que fue sometida la especie *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) fue de 62 % de máxima remoción para el cadmio y 80,6 % de máxima remoción para en mercurio.

Por lo tanto, la especie *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) es una planta potencialmente aprovechable para remover cadmio (II) y mercurio (II) en aguas contaminadas, dándole las condiciones óptimas para realizar el proceso se obtienen resultados favorables para la remoción de estos iones metálicos estudiados.

**Revista de la Sociedad Química del Perú (2014)** Logró determinar las condiciones óptimas para obtener una absorción cuantitativa de Cd (II) y Hg (II) con *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua), siendo los resultados obtenidos, pH 5, concentración de Cd (II) y Hg (II) 5 mg/L y porcentaje de absorción máxima en *Eichhornia crassipes*, 16,56 % para el Cd (II) y 15,60 % para el Hg (II) en el séptimo día, demostrando así la efectividad de la técnica de fitorremediación.

Por lo tanto, la especie *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) es una planta potencialmente aprovechable para remover cadmio (II) y mercurio (II) en aguas contaminadas; dándole las condiciones óptimas para realizar el proceso se obtienen resultados favorables para la remoción de estos iones metálicos estudiados.

**García, (2012)**, en su trabajo de investigación “*Evaluación de la eficiencia de plantas acuáticas flotantes Lemna Minor (Lenteja de agua), Eichhornia Crassipes (Jacinto de agua) y Pistia Stratoidea (Lechuga de agua), para el tratamiento de aguas residuales domésticas*”

Menciona al Jacinto de agua como la especie más eficiente en la remoción de lodos (91%, a diferencia de los otros tratamientos en un 75%) y esta remoción estuvo asociada a las mismas variables fisicoquímicas (90% en Jacinto de agua y 60% en los diferentes tratamientos).



**Paredes, (2015)**, en su trabajo de investigación. “*Optimización de la Fitorremediación de mercurio en humedales Flujo Continuo empleando Eichhornia crassipes (jacinto de agua).*”

La *Eichhornia crassipes* presenta gran capacidad de amortiguamiento del pH. en los medios ácido y básico. La variación de pH hacía el medio neutro con la *E. crassipes*, es más fácil desde un valor de pH básico. A mayor concentración de mercurio, menor es la capacidad de amortiguamiento de pH en los tres medios de pH. En medio básico, el peso de las raíces aumenta en forma directamente proporcional a las concentraciones crecientes de mercurio, En medio básico se logró el mayor porcentaje promedio de remoción de mercurio. La cinética de remoción de mercurio con *Eichhornia crassipes*, no es proporcional a lo largo del periodo de evaluación.

## 1.2. Bases teóricas.

### ✓ El agua

El agua es uno de los compuestos químicos más importantes para los seres humanos y la vida en general, ya que se encuentra distribuido en todo el planeta. Este cubre aproximadamente el 72% de la superficie terrestre, y la materia viva incluye altos porcentajes de esta sustancia en su composición, debido a que la requieren para realizar sus funciones. Una característica singular del agua es la de ser única sustancia química que en nuestro planeta se presenta en los tres estados de agregación: sólido, líquido y gaseoso, en estado natural requieren para realizar sus funciones.

Importancia del agua.

Dada la importancia del agua para la vida de todos los seres vivos, y debido al aumento de las necesidades por el continuo desarrollo de la humanidad, el hombre está en la obligación de proteger este recurso. El agua dulce es un recurso renovable, pero la disponibilidad de la misma está disminuyendo de manera constante. En muchas partes del mundo, la demanda de agua ya excede al abastecimiento, a medida que aumenta la población mundial. Es un deber de todos cuidar nuestros recursos hidrológicos, debido a que la disponibilidad del agua es fundamental para el mantenimiento de los ecosistemas y para las comunidades, la industria, la agricultura y las actividades comerciales, ya que su presencia o ausencia tiene efectos sobre los seres vivos.

Para la mayoría también es conocida el agua por su fórmula química:  $H_2O$ , la cual representa una molécula formada por dos elementos químicos: hidrógeno y oxígeno, que contiene dos átomos del primero y uno del segundo, unidos por medio de enlace

químico covalente polar. Los átomos de hidrógeno y oxígeno en la molécula de agua tienen cargas opuestas, y las moléculas de agua vecinas son atraídas entre ellas como pequeños imanes. La atracción electrostática entre el hidrógeno y el oxígeno en las moléculas adyacentes es llamada enlace de hidrógeno. Así, esta estructura permite a la molécula que muchas otras moléculas iguales sean atraídas y se unan con gran facilidad, formando enormes cadenas que van constituyendo el líquido que da la vida a nuestro planeta. El movimiento continuo de agua entre la Tierra y la atmósfera se conoce como ciclo hidrológico: se produce vapor de agua por evaporación en la superficie terrestre y en las masas de agua, y por transpiración de los seres vivos. Este vapor circula por la atmósfera y precipita en forma de lluvia o nieve. Durante la condensación y precipitación, la lluvia o la nieve absorben de la atmósfera cantidades variables de dióxido de carbono, otros gases y ocasionalmente sustancias radiactivas, así como pequeñas cantidades de material orgánico e inorgánico que posteriormente se precipitan en el agua terrestre y en las masas de agua. El agua tiene interrelación con el clima, las montañas (Orografía), la litología la capa superficial de la tierra, esencialmente con los tipos de suelos, sean estos arcillosos retenedores de agua, suelos francos que son de equilibrio en mantener el agua y los suelos arenosos que tienen poca retentiva para mantener el agua por el tamaño de partículas. Con la distribución del agua en la superficie del recurso hídrico es la fuente de estudios de la Hidrología en cambio la Hidrogeología trata del estudio integral del agua subterránea, su distribución y evolución en tiempo y espacio en el marco de la geología regional.

**(Fernández, 2005)**

✓ **Agua residual domestica**

Las aguas residuales domésticas son producto de la utilización del líquido en las diferentes actividades de un hogar, las cuales producen un nivel de contaminación al agua que puede manifestar la presencia de sólidos, desechos orgánicos, detergentes, jabones y grasas, lo que precisa de un proceso para su eliminación.

Los constituyentes encontrados en las aguas residuales pueden ser clasificados como físicos, químicos y biológicos. De los constituyentes del agua residual, los sólidos suspendidos, los compuestos orgánicos biodegradables y por ello la mayoría de instalaciones de manejo de aguas residuales deben ser diseñadas para su remoción.

**(Metcalf y Eddy. 1995)**

✓ **Tipos de contaminación del agua.**

Las categorías de contaminación que impactan a los recursos hídricos se derivan de fuentes puntuales y no puntuales. Éstas afectan y alteran las características naturales de los recursos hídricos, ocasionalmente por actividades naturales, pero en su mayoría el mayor de los impactos es de carácter antropogénico (FAO, 1993). Dependiendo de su origen existen dos tipos de contaminación de las aguas:

**Contaminación puntual:**

es aquella que descarga sus aguas en un cauce natural, proviene de una fuente específica, como suele ser un tubo o dique. En este punto el agua puede ser medida, tratada o controlada. Este tipo de contaminación está generalmente asociada a las industrias y las aguas negras municipales.

**Contaminación difusa:**

Es el tipo de contaminación producida en un área abierta, sin ninguna fuente específica; este tipo de contaminación está generalmente asociada con actividades de uso de tierra tales como, la agricultura, urbanizaciones, pastoreo y prácticas forestales. La contaminación puntual es fácil de eliminar, si se cuenta con los medios para almacenar el agua vertida, contaminada y tratarla. Generalmente se utilizan tanques de sedimentación, donde se depositan los sedimentos en el fondo y luego se trata con químicos el agua para ser vertida a las aguas naturales. El sedimento luego se utiliza como abono orgánico y se estabiliza en un lugar seguro. En el caso de la contaminación difusa, su control es más difícil debido a su naturaleza intermitente y su mayor cobertura. Entre las fuentes de mayor dificultad de controlar, y que causan mayor impacto, se encuentran las fuentes no puntuales de contaminación, caso de parcelas donde fluye el agua sobre la superficie de la tierra arrastrando nutrientes, fertilizantes, plaguicidas y otros contaminantes aplicados en las actividades agropecuarias y forestales (FAO, 1993). Este tipo de contaminación es causado por escorrentías de tierras agropecuarias, silvicultura, y ocupación urbana. No se produce de un lugar específico y único, sino que resulta de la escorrentía, precipitación y percolación, se

presenta cuando la tasa a la cual los materiales contaminantes que entran en el cuerpo de agua, exceden los niveles naturales (Villegas, 1995). Las fuentes puntuales de contaminación se desplazan por la superficie terrestre o penetran en el suelo arrastrado por el agua de lluvia. Estos contaminantes consiguen abrirse paso hasta las aguas subterráneas, tierras húmedas, ríos, lagos, y finalmente hasta los océanos en forma de sedimentos y cargas químicas. La repercusión de estos contaminantes puede ir desde pequeños trastornos hasta graves catástrofes ecológicas sobre peces, aves, mamíferos y salud humana. La característica principal de estas fuentes es que responden a las condiciones hidrológicas. Como ejemplo de este tipo de contaminación se pueden mencionar las actividades industriales y la contaminación de origen doméstico como excretas humanas, grasas, y jabones. (Monello, 2009)

### **1.2.1. Características físicas del agua residual domestica**

Algunas de las características físicas de las aguas residuales domesticas son las siguientes:

#### **➤ Temperatura.**

La temperatura de las aguas residuales es mayor que la de las aguas no contaminadas, debido a la energía liberada en las reacciones bioquímicas, que se presentan en la degradación de la materia orgánica. Las descargas calientes son otra causa de este aumento de temperatura.

En función de la situación geográfica, la temperatura media anual del agua residual varía entre 10 C° y 21 C°, pudiéndose tomar 15,6 como valor representativo.

La temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana se sitúa entre los 25 y los 35 C°. Los procesos de digestión aerobia y de nitrificación se detienen cuando se alcanzan los 50 C°. (Delgadillo, 2010)

#### **➤ Turbidez.**

Se debe a la cantidad de materias en suspensión que hay en las aguas residuales (limo, materia orgánica y microorganismos). Esta turbidez, en las masas de aguas receptoras, afecta a la penetración de la luz, lo que redundaría en una menor productividad primaria. (Delgadillo, 2010)

Si la turbidez del agua es alta, habrá muchas partículas suspendidas en ella. Estas partículas sólidas bloquearán la luz solar y evitarán que las plantas acuáticas obtengan la luz solar que necesitan para la fotosíntesis. (Giraldo, 1998).

#### **➤ Color.**

Históricamente, para la descripción de un agua residual, se empleaba el término condición junto con la composición y la concentración. Este término se refiere a la edad del agua residual, que puede ser determinada cualitativamente en función de su color y su olor. El agua residual reciente suele tener un color grisáceo. Sin embargo, al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias, el color del agua residual cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir color negro. Llegado este punto, suele clasificarse el agua residual como séptica. Algunas aguas residuales industriales pueden añadir color a las aguas residuales domésticas. En la mayoría de los casos, el color gris, gris oscuro o negro del agua residual es debido a la formación de sulfuros metálicos por reacción del sulfuro liberado en condiciones anaerobias con los metales presentes en el agua residual. **(Rivas, 1978)**

➤ **Sólidos totales.**

Los sólidos totales presentes en el agua residual se clasifican según su tamaño o presentación en sólidos suspendidos y sólidos filtrables.

**Sólidos suspendidos:** son las partículas flotantes, como trozos de vegetales, animales, basuras, etc., y aquellas otras que también son perceptibles a simple vista y tienen posibilidades de ser separadas del líquido por medios físicos sencillos. Dentro de los sólidos suspendidos se pueden distinguir los sólidos sedimentables, que se depositarán por gravedad en el fondo de los receptores. Estos sólidos sedimentables, son una medida aproximada de la cantidad de fango que se eliminará mediante sedimentación.

**Sólidos filtrables:** esta fracción se compone de sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal consiste en partículas con un diámetro aproximado que oscila entre  $10^{-3}$  y 1 micra. Esta fracción no puede eliminarse por sedimentación. Los sólidos disueltos se componen de moléculas orgánicas, moléculas inorgánicas e iones que se encuentran disueltos en el agua. Por lo general, se requiere una coagulación seguida de sedimentación para eliminar estas partículas de la suspensión. **(Espinoza, 2010).**

➤ **Potencial de hidrogeno (pH)**

El pH influye en algunos fenómenos que ocurren en el agua, como la corrosión y las incrustaciones en las redes de distribución. Se considera que el pH de las aguas tanto crudas como tratadas debería estar entre 5,0 y 9,0. Cuando es más bajo indica



la existencia de volcamientos ácidos y si es alto, estos son alcalinos y ambos provienen de comercios o industrias. En cualquier caso, son perjudiciales para las cañerías, equipos de bombeo e impactan en los sitios de disposición final. **(Castro, 1987).**

### **1.2.2. Características químicas.**

Las características químicas estarán dadas, principalmente, en función de los desechos que ingresan al agua residual **(Espigares y Pérez, 1985).**

Las características químicas de las aguas residuales son principalmente el contenido de materia orgánica e inorgánica, y los gases presentes en el agua residual. La medición del contenido de la materia orgánica se realiza por separado por su importancia en la gestión de la calidad del agua y en el diseño de las instalaciones de tratamiento de aguas. **(APHA, AWWA, WPCF, 1992).**

#### ➤ **Demanda Química de Oxígeno (DQO).**

Es la cantidad de oxígeno requerida para oxidar químicamente los materiales orgánicos presentes en una muestra de agua. Es una prueba analítica que permite determinar el contenido de materia orgánica biodegradable en una muestra de aguas residuales midiendo el consumo de oxígeno por una población microbiana heterogénea en presencia de nutrientes. La importancia de esta prueba radica en que es un parámetro ambiental que da una medida del grado de contaminación. Medida en cada poza artificial permitiendo calcular la remoción del mismo.

**(Romero, 2005)**

#### ➤ **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5).**

El parámetro de polución orgánica más utilizado y aplicable a las aguas residuales y superficiales es la DBO a los 5 días (DBO5). Es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos durante la estabilización de la materia orgánica susceptible de descomposición en condiciones aerobias. **(Romero, 2005).**

#### ➤ **Materia orgánica.**

La materia orgánica está compuesta en un 90% por carbohidratos, proteínas, grasas y aceites provenientes de restos de alimentos y detergentes. Estos contaminantes son biodegradables, es decir, pueden ser transformados en compuestos más simples por la acción de microorganismos naturales presentes en el agua, cuyo desarrollo se ve favorecido por las condiciones de temperatura y nutrientes de las aguas residuales domésticas. La urea, principal constituyente de la orina, es otro importante

compuesto orgánico del agua residual. En razón de la rapidez con que se descompone, la urea es raramente hallada en un agua residual que no sea muy reciente.

El agua residual contiene también pequeñas cantidades de moléculas orgánicas sintéticas como agentes tensos activos, fenoles y pesticidas usados en la agricultura. Se incluyen en este grupo todos los sólidos de origen generalmente mineral, como son sales minerales, arcillas, lodos, arenas y gravas no biodegradables. (Manga, 2007)

➤ **Materia inorgánica**

Las concentraciones de las sustancias inorgánicas en el agua aumentan tanto por el contacto del agua con las diferentes formaciones geológicas, como por el agua residual, tratada o sin tratar, que a ella se descargan. Las concentraciones de los diferentes constituyentes inorgánicos pueden afectar mucho a los usos del agua, como por ejemplo los cloruros, la alcalinidad, el nitrógeno, el azufre, algunos otros compuestos tóxicos inorgánicos y algunos metales pesados como el níquel, el manganeso, el plomo, el cromo, el cadmio, el cinc, el cobre, el hierro y el mercurio. Dentro de la materia inorgánica es de suma importancia también hablar de la concentración de ion hidrógeno (pH), ya que es un parámetro de calidad, de gran importancia tanto para el caso de agua natural como residual. El agua residual con concentraciones de ion hidrógeno inadecuado presenta dificultades en el tratamiento con procesos biológicos, y el efluente puede modificar la concentración de ion hidrógeno en el agua natural si ésta no se modifica antes de la evacuación del agua.

➤ **Aceites y grasas.**

La presencia de aceites y grasas en el agua altera su calidad estética (olor, sabor y apariencia). El contenido de aceites y grasas en el agua se determina en el laboratorio mediante la extracción de todo el material soluble en un solvente orgánico tal como el hexano. Los resultados se reportan como mg/L de MEH (material extraíble en hexano). Las normas de calidad de agua recomiendan que los aceites y grasas estén ausentes en el agua para consumo humano, más por razones de aceptabilidad que porque exista algún riesgo de daño a la salud. (Castro, 1987).

➤ **Gases.**

Las aguas residuales contienen diversos gases con diferente concentración. Oxígeno disuelto: es el más importante, y es un gas que va siendo consumido por la actividad

química y biológica. La presencia de oxígeno disuelto en el agua residual evita la formación de olores desagradables. La cantidad de oxígeno disuelto depende de muchos factores, como temperatura, altitud, movimientos del curso receptor, actividad biológica, actividad química, etc.

Ácido sulfhídrico: Se forma por la descomposición de la materia orgánica que contiene azufre o por la reducción de sulfitos y sulfatos minerales. Su presencia, que se manifiesta fundamentalmente por los olores que produce, es un indicativo de la evolución y estado de un agua residual.

Anhídrido carbónico: se produce en la fermentación de los compuestos orgánicos de las aguas residuales negras.

Metano: se forma en la descomposición anaerobia de la materia orgánica por la reducción bacteriana del CO<sub>2</sub>.

Otros gases: se producen además gases malolientes, como ácidos grasos volátiles y otros derivados del nitrógeno.

### **1.2.3. Características biológicas del agua residual domestica**

Para el tratamiento biológico se deben de tomar en cuenta las siguientes características del agua residual: principales grupos de microorganismos presentes, tanto en el agua superficial como en residual, así como aquellos que intervienen en los tratamientos biológicos; organismos patógenos presentes en el agua residual; organismos utilizados como indicadores de contaminación y su importancia; métodos empleados para determinar los organismos indicadores, y métodos empleados para determinar la toxicidad del agua tratada.

#### **Microorganismos**

Las bacterias desempeñan un papel amplio y de gran importancia en los procesos de descomposición y estabilización de la materia orgánica, tanto en el marco natural como en las plantas de tratamiento. Por ello resulta imprescindible conocer sus características, funciones, metabolismos y proceso de síntesis.

Los principales grupos de organismos presentes tanto en el agua residual como superficial se clasifican en organismos Eucariota, bacterias y Arqueo bacterias.

### **1.2.4. Fitorremediación por *Eichornia crassipes***

#### **Clases de plantas acuáticas**

Las plantas acuáticas son aquellas que requieren una gran cantidad de agua en sus raíces para vivir, crecen en medios muy húmedos y completamente inundados,

Caicedo (1995), básicamente tienen los mismos requerimientos nutricionales de las plantas terrestres. Se pueden clasificar en flotantes, sumergidas y emergentes.

Las plantas acuáticas facilitan la integración paisajística de los sistemas y recrean los ecosistemas complejos donde intervienen otros elementos como insectos, anfibios y aves, regulando el sistema. Además, ofrecen la posibilidad de obtener productos valorizables con diversos fines. Entre los posibles aprovechamientos están los usos ornamentales, cama para ganado, producción de compost, producción de forrajeras, obtención de fibras para trabajos artesanales, etc.

### ✓ **Fitorremediación**

La idea de utilizar la fitorremediación en aguas residuales fue introducida en el año 1983 (Chaney, 1983) y ganó aceptación en 1990 al tratarse de una alternativa “verde”. Los organismos gubernamentales incluyen la fitorremediación como estrategia de limpieza para dar un mejor aprovechamiento a los fondos disponibles. Además, empresas consultoras están incluyendo en sus paquetes tecnológicos la fitorremediación, para anunciar su participación con el medio ambiente.

**(Pilon, 2005).**

El tiempo que toma descontaminar un sitio depende de diversos factores. Entre los más importantes están: tipo y número de plantas que se emplean, tipo y cantidad de sustancias químicas presentes, y condiciones ambientales presentes (EPA, 2003). La fitorremediación, mediante diversas técnicas, puede utilizarse para reducir, estabilizar o transformar una amplia variedad de contaminantes **(Miller, 1996)**.

La fitorremediación representa una tecnología alternativa, sustentable para la restauración de ambientes y efluentes contaminados. Existen diferentes procesos biotecnológicos para limpiar diferentes contaminantes. El principio básico consiste en destruir o modificar los materiales contaminantes con el fin de disminuir su peligrosidad o dejen de serlo por completo. Todos los procesos de remediación biológica aprovechan la capacidad degradativa de los microorganismos del suelo y en algunos casos también la capacidad depuradora de las plantas. La fitorremediación puede definirse como una tecnología sustentable que se basa en el uso de plantas para reducir in situ la concentración o peligrosidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos de suelos, sedimentos, agua, y aire, a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a su sistema de raíz que

conducen a un conjunto de métodos para degradar, asimilar, metabolizar o detoxificar metales pesados, compuestos orgánicos, radioactivos y petroderivados, que tengan la capacidad fisiológica y bioquímica para absorber, retener, reducción, mineralización, volatilización, estabilización, degradar o transformar dichas sustancias a formas menos tóxicas. Las aguas residuales son generadas por residencias, instituciones y locales comerciales e industriales. Éstas pueden ser tratadas dentro del sitio en el cual son generadas. (Qlynn y Heinke, 1999).

✓ **Taxonomía de *Eichhornia crassipes***

La macrofita acuática *Eichhornia crassipes* se encuentra dentro de la siguiente clasificación.

*Reino:*        *Plantae*

*División:*   *Magnoliophyta*

*Clase:*        *Liliopsida*

*Orden:*        *Commelinales*

*Familia:*      *Pontederiaceae*

*Género:*      *Eichhornia*

*Especie:*     *Eichhornia crassipes*

(Zarela G. 2012).

✓ **Descripción**

*Eichhornia crassipes*, llamado comúnmente flor de Bora, oreja de ratón, camalote, jacinto de agua común, tarope o tarulla, es una planta acuática de la familia de las Pontederiaceae es de rápido crecimiento, se reproducen principalmente por estolones que forman nuevas plántulas, además de por semillas. Estas plantas carecen de tallo aparentemente, provista de un rizoma, muy particular, emergente, del que se abre un rosetón de hojas que tienen una superficie esponjosa notablemente inflada en forma de globo que forma una vejiga llena de aire, mediante la que el vegetal puede mantenerse sobre la superficie acuática, el limbo se estrecha en la zona media, terminando en una especie de lengüeta plana y redondeada. El color, verde brillante oscuro y lustroso de esta planta de hojas acorazonadas, contrasta durante la época de floración con el tallo espigado. La masa radicular, espesa, de color marrón azulado. Sus zonas radiculares son excelentes micrositios de las comunidades bacterianas.

(Ávila y Castillo, 2000).

✓ **Hábitat**



Habita en cuerpos de agua dulce como los son: ríos, lagos, charcas y embalses de los trópicos y subtropicos. Temperaturas menores de 0 °C afectan su crecimiento.

Sin embargo, cuerpos de agua eutroficados que contienen niveles altos de nitrógeno, fósforo, potasio al igual que aguas contaminada con metales pesados como cobre y plomo no limitan su crecimiento. Son consideradas malas hierbas, que pueden taponar en poco tiempo una vía fluvial o lacustre. (Ávila y Castillo, 2000)

✓ **Reproducción.**

Al ser una planta con flores que se reproducen sexualmente originando un fruto en forma de cápsula, puede multiplicarse por este procedimiento, pero su prodigiosa proliferación y la reproducción artificial más sencilla se efectúa por división de los estolones que los plantones emiten durante la estación favorable, originando, naturalmente, una tupida red vegetal capaz de colonizar en poco tiempo una gran superficie acuática, formando un tapiz que puede impedir la navegación. (Torres, 2009).

✓ **Importancia**

Es una planta considerada plaga; sin embargo, podría aprovecharse como fitorremediadora. *Eichhornia crassipes* es una de las especies más estudiadas. Esta planta obtiene del agua todos los nutrientes que requiere para su metabolismo, siendo el nitrógeno y el fósforo, junto a los iones de potasio, calcio, magnesio, hierro, amonio, nitrito, sulfato, cloro, fosfato y carbonato, los más importantes. Posee un sistema de raíces, que pueden tener microorganismos asociados a ellas que favorece la acción depuradora de la planta. En general, estas plantas son capaces de retener en sus tejidos una gran variedad de metales pesados (como cadmio, mercurio y arsénico específicamente).

El mecanismo de cómo actúa es a través de formaciones de complejos entre el metal pesado con los aminoácidos presentes dentro de la célula, previa absorción de estos metales a través de las raíces. (García, 2009)

✓ **Mecanismos de fitorremediación**

En los últimos años se ha generado una terminología nueva basada en el papel que tienen las plantas durante el proceso de remediación, así como de los principales mecanismos involucrados, se han definido las siguientes estrategias de fitorremediación.

### **Fitoextracción o Fitoacumulación**

En esta estrategia se explota la capacidad de algunas plantas para acumular contaminantes en sus raíces, tallos o follaje, las cuales pueden ser fácilmente cosechadas. Los contaminantes extraídos son principalmente metales pesados, aunque también puede extraerse cierto tipo de contaminantes orgánicos y elementos e isótopos radiactivos. Generalmente, los sistemas de fitoextracción se implementan para extraer metales de suelos contaminados, por medio de plantas conocidas como metalofitas, es decir acumuladoras de metales; sin embargo, también pueden implementarse para tratar aguas residuales.

### **Fitoestabilización**

Este tipo de estrategia utiliza plantas que desarrollan un denso sistema de raíz, para reducir la biodisponibilidad de metales y otros contaminantes en el ambiente por medio de mecanismos de secuestación, lignificación o humidificación. Las plantas ejercen un control hidráulico en el área contaminada, es decir actúan como una bomba solar que succiona humedad de los suelos debido a sus altas tasas de evapotranspiración. Puesto que este proceso mantiene también una humedad constante en la zona de la rizósfera, se presentan las condiciones adecuadas para la inmovilización de los metales. Esto ocurre a través de reacciones químicas como la precipitación o formación de complejos insolubles o por mecanismos físicos, como la adsorción. En esta zona, los metales se fijan fuertemente en las raíces de las plantas o en la materia orgánica de los suelos, limitando así su biodisponibilidad y su migración vertical hacia los mantos freáticos.

### **Fitoestimulación**

En este caso, los exudados de las raíces de las plantas estimulan el crecimiento de microorganismos capaces de degradar contaminantes orgánicos. Como parte de sus actividades metabólicas y fisiológicas, las plantas liberan azúcares simples, aminoácidos, compuestos alifáticos y aromáticos, nutrientes, enzimas y oxígeno, y los transportan desde sus partes superiores hasta sus raíces, favoreciendo el desarrollo de comunidades microbianas en el suelo circundante; particularmente hongos y bacterias, cuyas actividades metabólicas causan la mineralización de los contaminantes.

### ✓ **Ventajas y desventajas de la fitorremediación**

### **Ventajas**

- Es una tecnología sustentable.
- Es eficiente para tratar diversos tipos de contaminantes in situ.
- Es aplicable a ambientes con concentraciones de bajas a moderadas.
- Es de bajo costo, no requiere personal especializado para su manejo ni consumo de energía.
- No produce contaminantes secundarios y por lo mismo no hay necesidad de lugares para desecho.
- Tiene una alta probabilidad de ser aceptada por el público, ya que es estéticamente agradable.
- Evita la excavación y el tráfico pesado.
- Tiene una versatilidad potencial para tratar una gama diversa de materiales peligrosos.
- Se pueden reciclar recursos (agua, biomasa, y metales)

### **Desventajas**

- Es dependiente de las estaciones.
- El crecimiento de la vegetación puede estar limitado por extremos de la toxicidad ambiental.
- Los contaminantes acumulados en las hojas pueden ser liberados nuevamente al ambiente durante el otoño (especies perennes).
- Los contaminantes pueden acumularse en maderas para combustión.
- La solubilidad de algunos contaminantes pueden incrementarse, resultando en un mayor daño ambiental o migración de contaminantes.
- Pudiera favorecer el desarrollo de mosquitos. (en sistemas acuáticos).

**(Vargas 2003).**

### **1.2.5. Ley N° 28611 Ley general del ambiente**

#### **• Artículo I.- Del derecho y deber fundamental**

Toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el

aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país.

- **Artículo III.- Del derecho a la participación en la gestión ambiental**

Toda persona tiene el derecho a participar responsablemente en los procesos de toma de decisiones, así como en la definición y aplicación de las políticas y medidas relativas al ambiente y sus componentes, que se adopten en cada uno de los niveles de gobierno. El Estado concertar con la sociedad civil las decisiones y acciones de la gestión ambiental.

- **Artículo IV.- Del derecho de acceso a la justicia ambiental**

Toda persona tiene el derecho a una acción rápida, sencilla y efectiva, ante las entidades administrativas y jurisdiccionales, en defensa del ambiente y de sus componentes, velando por la debida protección de la salud de las personas en 21 forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, así como la conservación del patrimonio cultural vinculado a aquellos. Se puede interponer acciones legales aun en los casos en que no se afecte el interés económico del accionante. El interés moral legitima la acción aun cuando no se refiera directamente al accionante o a su familia.

- **Artículo V.- Del principio de sostenibilidad**

La gestión del ambiente y de sus componentes, así como el ejercicio y la protección de los derechos que establece la presente Ley, se sustentan en la integración equilibrada de los aspectos sociales, ambientales y económicos del desarrollo Nacional, así como en la satisfacción de las necesidades de las actuales y futuras generaciones.

#### **1.2.6. Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos**

- ✓ **Artículo 79°.- Vertimiento de agua residual**

La Autoridad Nacional autoriza el vertimiento del agua residual tratada a un cuerpo natural de agua continental o marina, previa opinión técnica favorable de las Autoridades Ambiental y de Salud sobre el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA-Agua) y Límites Máximos Permisibles (LMP). Queda prohibido el vertimiento directo o indirecto de agua residual sin dicha autorización.

- ✓ **Artículo 80°.- Autorización de vertimiento**

Todo vertimiento de agua residual en una fuente natural de agua requiere de autorización de vertimiento, para cuyo efecto debe presentar el instrumento ambiental pertinente aprobado por la autoridad ambiental respectiva, el cual debe contemplar los siguientes aspectos respecto de las emisiones:

Someter los residuos a los necesarios tratamientos previos.

Comprobar que las condiciones del receptor permitan los procesos naturales de purificación. La autorización de vertimiento se otorga por un plazo determinado y prorrogable, de acuerdo con la duración de la actividad principal en la que se usa el agua y está sujeta a lo establecido en la Ley y en el Reglamento.

✓ **Artículo 133°.- Condiciones Para autorizar el vertimiento de aguas residuales tratadas.**

133.1 La Autoridad Nacional del Agua podrá autorizar el vertimiento de aguas residuales únicamente cuando:

- a. Las aguas residuales sean sometidas a un tratamiento previo, que permitan el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles – LMP
- b. No se transgredan los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, ECA - Agua en el cuerpo receptor, según las disposiciones que dicte el Ministerio del Ambiente para su implementación.
- c. Las condiciones del cuerpo receptor permitan los procesos naturales de purificación.
- d. No se cause perjuicio a otro uso en cantidad o calidad del agua.
- e. No se afecte la conservación del ambiente acuático.
- f. Se cuente con el instrumento ambiental aprobado por la autoridad ambiental sectorial competente.
- g. Su lanzamiento submarino o subacuático, con tratamiento previo, no cause perjuicio al ecosistema y otras actividades lacustre, fluviales o marino costeras, según corresponda.

133.2 La Autoridad Nacional del Agua, dictará las disposiciones complementarias sobre características de los tratamientos y otras necesarias para el cumplimiento de la presente disposición.

✓ **Artículo 82°.- Reutilización de agua residual**

La Autoridad Nacional, a través del Consejo de Cuenca, autoriza el reuso del agua residual tratada, según el fin para el que se destine la misma. El titular de una

licencia de uso de agua está facultado para reutilizar el agua residual que genere siempre que se trate de los mismos fines para los cuales fue otorgada la licencia. Para actividades distintas, se requiere autorización. La distribución de las aguas residuales tratadas debe considerar la oferta hídrica de la cuenca.

✓ **Artículo 147°.- Reuso de agua residual**

Para efectos del Reglamento se entiende por reuso de agua residual a la utilización de aguas residuales tratadas resultantes de las actividades antropogénicas.

✓ **Artículo 32° Del límite máximo permisible (LMP)**

El límite máximo permisible (LMP), Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el MINAM y los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental. El LMP guarda coherencia entre el nivel de protección ambiental establecido para una fuente determinada y los niveles generales que se establecen en los ECA. La implementación de estos instrumentos debe asegurar que no exceda la capacidad de carga de los ecosistemas, de acuerdo con las normas sobre la materia. (Moscoso, y León, 1996).

**Tabla 1.**

*Límites máximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales*

PARAMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUA
Aceite y grasas	mg/L	20
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	10,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
PH	Unidad	6.5-8.5

<b>Sólidos totales en</b>	<b>mg/L</b>	
<b>suspensión</b>		<b>150</b>
<b>Temperatura</b>	<b>C°</b>	<b>&lt;35</b>

---

Fuente: D.S. N° 003 – 2010 – MINAM

### 1.2.7. Definición de términos básicos

- **Fitorremediación**

Conjunto de métodos para degradar, asimilar, metabolizar o detoxificar metales pesados y compuestos orgánicos por medio de la utilización de plantas.

EPA (2000)

- **Contaminación del agua.**

«La contaminación del agua consiste en una modificación, de la calidad del agua generalmente, provocada por el hombre, haciéndola impropia o peligrosa para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca y las actividades recreativas, así como para los animales domésticos y la vida natural»

**(Carta del agua, consejo de Europa, 1968)**

«Un agua está contaminada cuando se ve alterada su composición o estado, directa o indirectamente, como consecuencia de la actividad humana, de tal modo que quede menos apta para uno o todos los usos a que va destinada, para los que sería apta en su calidad natural»

Metcalf y Eddy. (1995)

- **Agua residual**

Se entiende por aguas residuales aquellas que han sido utilizadas con un fin consuntivo, incorporando a ellas sustancias que deterioran su calidad original (contaminación), disminuyendo su potencialidad de uso.

- **DBO5**

Se define como la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica biodegradable existente en un agua residual.

Metcalf y Eddy. (1995)

- **DQO**

La DQO es “la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en dióxido de carbono y agua”.

La DQO se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno por litro (mgO<sub>2</sub>/l). Cuanto mayor es la DQO más contaminante es la muestra.

Metcalf y Eddy. (1995)

- **Límite máximo permisible (LMP):**

Es la medida de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan al efluente o una emisión, que al ser excedido causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente.

Metcalf y Eddy. (1995)

- **Macrofitas**

Son plantas superiores, algas, musgos o briofitas macroscópicas, adaptadas a la vida en el medio acuático. Son importantes componentes ecológicos de los sistemas acuáticos al ser productoras primarias que proveen hábitat para invertebrados.

- **Planta acuática**

También llamadas plantas hidrófilas, hidrófitas, hidrófilaceas. Son plantas adaptadas a los medios muy húmedos o acuáticos. Éstas plantas pueden encontrarse tanto entre las algas como entre los vegetales vasculares: briofitos, pteropsidas y angiospermas (familia de las monocotiledóneas y de las dicotiledóneas). Su adaptación al medio acuático es variable. Se pueden encontrar diferentes grupos de plantas unas totalmente sumergidas, otras las más numerosas, parcialmente sumergidas o con hojas flotantes.

- **Monitoreo**

Evaluación sistemática y periódica de la calidad de una muestra de efluente o cuerpo receptor en un punto de control determinado, mediante la medición de parámetros de campo, la toma de muestras y el análisis de sus propiedades físicas, químicas y biológicas.



## **CAPITULO II**

### **MATERIAL Y METODOS**

#### **2.1. Materiales**

Para la fase de campo se utilizaron los siguientes materiales:

- Cuaderno de campo
- Lapiceros
- Cámara fotográfica
- Palana
- Machete
- Serrucho
- Caña brava
- Alambre
- Rafia
- Plástico grueso
- Malla verde
- Tubo (2 pulgadas)

- Guantes
- Mandil
- Mascarilla
- Envases de plástico y vidrio

### **Equipos**

- Termómetro ambiental  
El termómetro utilizado para medir la temperatura tiene rango de:  $-40 + 50^{\circ}\text{C}$ . con base de madera ver (Anexo 15).
- pH-metro.  
Este equipo utilizado para medir el pH fue de la marca Checker by HANNA muestra inmediatamente el valor medido en su amplia pantalla.  
Rango: 0,00 a 14 pH  
Precisión: 0.1 pH ver (Anexo 15)
- Laptop

## **2.2. Métodos**

### **a) Solicitud de autorización**

Para el inicio del desarrollo de las actividades, se procedió a presentar una solicitud a cada dueño de las casas seleccionadas, en donde se solicita el permiso correspondiente para poder ejecutar la investigación. Se solicitó el ingreso y un área de  $1\text{m}^2$ , la cual se empleó para la construcción de las pozas artificiales.

### **b) Instalación de los humedales**

El primer paso, fue seleccionar un espacio adecuado por vivienda para el desarrollo e instalación de sistema, donde se monitoreo y muestreo las aguas provenientes del uso doméstico, seguidamente se realizó la instalación del sistema de plantas flotantes, adoptado del modelo propuesto por (Fernández, 2000), El sistema empleado se rigió a las especificaciones, para el desarrollo adecuado del proceso de fitorremediación, sujeto a las siguientes condiciones para obtener un buen desempeño del sistema:

- ✓ Se ubicó detrás de cada cocina por vivienda seleccionada.
- ✓ En cuanto a materiales se instaló un tubo de entrada a la poza artificial y un tubo de salida con llaves de paso cada una.
- ✓ Referente a esta versión prueba, se consideró las siguientes dimensiones para la “poza”, una dimensión de 1 m de largo x 1 m de ancho y 0,5 m de profundidad.

- ✓ El diseño empleado solo tiene la capacidad de almacenamiento de 500 litros cada una.
- ✓ Se empleó el uso de un aislante para que el agua no se infiltre.
- ✓ Para evitar posibles daños a la salud pública se consideró circular el estanque, afín de evitar el ingreso del agua de lluvia, animales silvestres o domésticos, etc.
- ✓ Cabe resaltar que el tiempo de llenado de cada poza fue de 16 días, tomando en cuenta ninguna restricción la generación de aguas domesticas por vivienda.
- ✓ Finalmente, no se cambió el destino final de las aguas tratadas ya que para demostrar la eficiencia del proceso se dejó en el mismo espacio que inicialmente cada familia tenía destinado, donde se registró en un “pre” tratamiento la presencia de gran cantidad de (moscas y sancudos), una vez tratado no se percibía ningún olor ni patógeno transmisor.

c) **Caracterización de las aguas residuales domestica de cocina.**

Se tomaron muestras compuestas del agua residual de cada poza artificial, las cuales fueron enviadas al laboratorio para ser analizadas. Los resultados obtenidos fueron analizados.

d) **Recolección y sembrado de las plantas acuáticas**

Las plantas fueron recolectadas del río Negro ubicado en el distrito Elías Soplin Vargas el mismo día que se recolecto fueron sembradas, colocándose 25 plantas a cada poza.

e) **Monitoreo de pH, temperatura y solidos totales.**

■ **Monitoreo de la variación del pH y temperatura.**

Se monitoreó la variación del pH y temperatura, se tomarán muestras de cada poza para ser analizadas in situ con la ayuda de un equipo pH-metro, así mismo con la ayuda de un termómetro se midió la temperatura. El monitoreo se realizó a las 12:00 horas del día, con la finalidad de determinar el comportamiento del pH y temperatura. Esta actividad se realizó antes del sembrado de las plantas, durante y post tratamiento.

■ **Medición de pH y temperatura.**

Una vez obtenida la muestra, se procedió a tomar la medición de los parámetros de pH y temperatura, y que estos parámetros son parámetros necesarios que tienen que ser medidos en campo.

■ **Medición de solidos totales.**

Las mediciones de sólidos totales fueron realizadas en el laboratorio de la EPS Moyobamba.

La toma de muestras para determinar el parámetro físico sólidos totales se realizó en tres repeticiones (anexo 05). Procedimiento:

Las muestras se recolectaron en frascos de plástico se colocó en un cooler y para conservar la muestra se colocó hielo; el mismo día de la recolección se llevó inmediatamente al laboratorio de la EPS – Moyobamba.

f) **Toma de muestras y envío a laboratorio.**

La toma de muestras para la determinación de los parámetros:  $\text{DBO}_5$ ,  $\text{DQO}$ , aceites y grasas pre, durante y post tratamiento, se realizó en tres repeticiones. Se inició la primera toma de muestras antes de sembrado las plantas a 40 días después del sembrado y la última muestra a 86 días.

g) **Método de recolección de muestra**

Para el desarrollo de la presente investigación, se aplicó el método de muestreo manual, el cual requiere de un mínimo equipos y personal de muestreo.

h) **Muestreo y preservación de muestras  $\text{DBO}_5$ ,  $\text{DQO}$ , aceites y grasas**

El muestreo se llevó a cabo bajo los procedimientos e indicaciones establecidos por el Laboratorio regional del Agua – Cajamarca, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- **Enjuague de recipientes.**

Se utilizó recipientes nuevos esterilizados, los cuales antes de ser llenados, se enjuagó 2 a 3 veces para eliminar cualquier polvillo que tuviese el frasco y arrojar lejos de la poza. Cabe recalcar este proceso es sugerido por los laboratoristas del Laboratorio Regional del Agua.

- **Añadir reactivos.**

Luego de haber tomado la lectura de los parámetros de campo, se procedió a añadir los respectivos reactivos para conservar las muestras, según las indicaciones de los técnicos del laboratorio.

Para **DQO** se añadió 20 gotas de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )

Para **aceites y grasas** se añadió 40 gotas de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ )

■ **Cerrado y precintado.**

Las muestras se cerraron convenientemente y se precintaron, en su caso, de formas que quede garantizada su inviolabilidad, durante su transporte.

■ **Rotulación.**

Antes de la toma de la muestra se marcaron los frascos mediante rotulador resistente al agua (plumón indeleble), con una referencia que permita su identificación. En todo caso la muestra se acompañará de una ficha o etiqueta en la que se consignen los datos necesarios que, como mínimo, serán los siguientes:

Identificado de la muestra (ID)

Localización de la muestra.

Fecha y hora de muestro.

Parámetro según corresponda.

i) **Acondicionamiento y conservación.**

Una vez tomada la muestra se acondicionó de modo que quede en la oscuridad, debiendo remitirse cuanto antes al laboratorio (Colocación de las muestras en el Coolers). Se colocó el ICE PACK para conservar la muestra.

j) **Consideraciones generales para la toma de muestra.**

- Antes de tomar una muestra, se deberá enjuagar por lo menos tres veces el recipiente con el agua de muestreo, a menos que este contenga algún agente preservante. Este procedimiento se conoce como purga de los recipientes.
- Cuando las muestras deben ser transportadas a grandes distancias, es conveniente dejar un espacio libre dentro del recipiente, de aproximadamente el 10% de su volumen, para que la expansión térmica no fracture los recipientes.
- Durante las operaciones de muestreo se deberá llevar un registro de cada muestra, en el que se especifique su identificación, el tipo de análisis para el cual se toma la muestra, el lugar, la fecha y la hora de la toma. Adicionalmente se deberá realizar una descripción de los aspectos relevantes encontrados en el sitio del muestreo, de tal forma que estos puedan atarse a los resultados analíticos.
- Se deberá marcar perfectamente las muestras, indicando en el formato el nombre y el número de la muestra, el sitio del muestreo, el tipo de análisis para el cual fue tomada y la fecha y hora en que se realizó el muestreo, entre otros.

- Algunos parámetros, cuyos valores cambian rápidamente con el tiempo, deberán ser medidos directamente en el sitio de muestreo, utilizando kits o equipos portátiles de análisis (temperatura, pH, etc.).
- Otros parámetros deben ser fijados o preservados en campo, para su posterior análisis en el laboratorio. Tal es el caso de, DQO y aceites y grasas etc.

### 2.2.1. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

#### Análisis de varianza para el diseño irrestrictamente al azar de los tratamientos

Tratamientos de *Eichornia Crassipes*

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad.	cuadrados medios	valor F calculado	valor crítico
(tratamientos )	SCC	K- 1	$CMC = \frac{SCC}{K - 1}$	FT	FCT
Error	SCE	n - k	$CME = \frac{SCE}{n - 1}$	$F_{cal} = \frac{CMC}{CME}$	
Total	SCT	n - 1			

✓ Hipótesis:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_1: \text{no todas las medias son iguales } \mu_1 \neq \mu_2$$

✓ Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

✓ Confiabilidad: 95%

✓ Estadística:  $F = CMC/CME$  que se distribuye según F (k – 1, n – k)

✓ Región crítica: para  $\alpha = 0.05$ , en la tabla F se encuentra el valor crítico de la prueba

✓ Cálculos: de los datos se obtiene

$$C = \frac{T^2_{..}}{N}$$

$$SCT = \sum \sum X_{ij}^2 - C$$

$$SCC = \sum \frac{T_i^2}{r} - C$$

$$SCE = SCT - SCC$$

### 2.2.2. Software utilizado para el procesamiento y análisis de datos.

Los datos recolectados fueron organizados con la ayuda del software Microsoft Excel. Y procesados con el software minitab.

### **2.2.3. Procesamiento de datos.**

En esta etapa se procedió a realizar la toma de las decisiones a partir de los análisis de datos desde el punto de vista experimental, en base a resultados claros y concretos.

### **2.2.4. Análisis de datos.**

Para el análisis de datos obtenidos de las mediciones in-situ y los resultados obtenidos de laboratorio, se utilizó las pruebas estadísticas “Prueba de ANOVA.”; en esta etapa se procedió a realizar la toma de las decisiones a partir de los análisis de datos desde el punto de vista experimental, en base a resultados claros y concretos, expresar la medida en la que este estudio ayuda a solucionar o aportar alguna solución al problema generado. Por otro lado, permitirá determinar la importancia de realizar este tipo de proyectos como medidas de mitigación a los cambios antropogénicos y labores cotidianas de una población en concreto.

Estas pruebas (se utilizan para determinar si hay una diferencia significativa, pre, durante y post tratamiento de las aguas domesticas).

Para obtener los resultados deseados, se siguieron las recomendaciones del laboratorio, donde se obtuvieron muestras en campo (In – situ), con un total 36 muestras (Pre, durante y Post) para el análisis químico y físico, de tres (03) viviendas y luego fueron enviadas al laboratorio en tres estadios diferentes, teniendo en cuenta el tiempo o periodo recomendado de extracción de muestra.

### **✓ Técnicas utilizadas para el análisis de datos**

Para los análisis de los resultados obtenidos de campo, se utilizó prueba ANOVA

**En análisis descriptivo.** - Se procesó todos los resultados obtenidos de laboratorio tanto de parámetros físicos y químicos, en forma individual y/o grupal, por vivienda, pre, durante y post.

**En análisis inductivo.** - Este proceso nos permitió tomar decisiones, generar conocimientos y conciencia ambiental, así mismo dar a conocer la eficiencia del proyecto.

## **CAPITULO III**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1. Resultados.**

##### **3.1.1. Diseño del sistema de fitorremediación de las aguas residuales domésticas.**

Los resultados obtenidos demuestran que el diseño empleado mediante el uso de la especie florística antes mencionada, es una tecnología ecológica y sustentable, además de ser técnica y relativamente barata, evitando la instalación de grandes contracciones en zonas de conservación y cuidado de nuestros bosques que alteren y/o perjudiquen a la flora y fauna.



Se diseñó el sistema de fitorremediación con las siguientes dimensiones:

1m de ancho, 1m de largo y 0.5m de profundidad en cuanto a materiales se instaló un tubo (2 pulgadas) de entrada a la poza artificial y un tubo (2 pulgadas) de salida con llaves de paso cada una. Se colocó plástico para evitar que se infiltre el agua y malla alrededor para evitar el ingreso de animales.

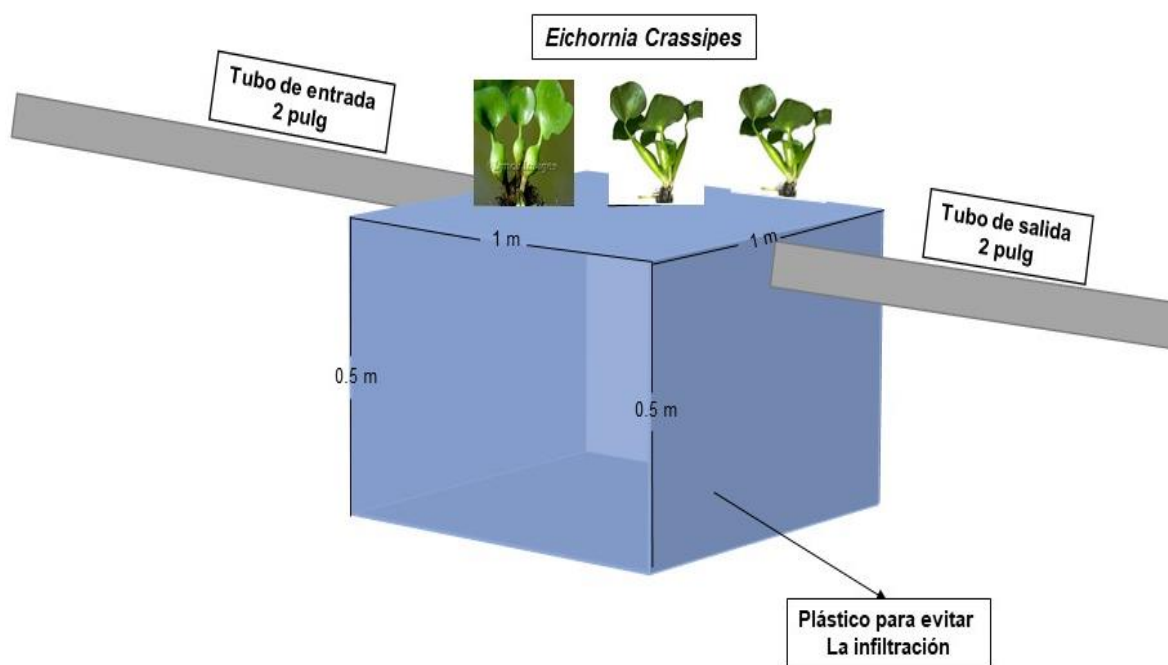


Figura 1: Diseño de fitorremediación.

### 3.1.2. Remoción de los contaminantes físicos y químicos de las aguas residuales domésticas.

Debido a la habilidad que tiene esta macrófita acuática (*Eichornia crassipes*), para asimilar, todos los constituyentes del agua considerandos como contaminantes, en las aguas domesticas del caserío de “Santa Catalina”, se registra una eficiencia superior al 90 % en promedio a los parámetros químicos después del tratamiento. En lo que concierne al DBO, se registra una carga altamente significativa, elevándose en un estado inicial a consecuencia de la acumulación de sedimentos o desechos de alimentos cocinados (Materia orgánica), esto incrementa el DBO

natural respecto a una fuente no contaminada, donde la *Vivienda 01*, reporto el mayor valor con 1 235 mg/L, 40 días después reduce a 765,5 mg/L finalmente se consigue una reducción a 100 mg/L lo que registra una eficiencia del 95,24 %, resultado incluido dentro de los límites máximos permisibles, lo que explica que el agua tratada registra buenas condiciones de salubridad.

En lo que concierne al DQO, *Vivienda 01*, el mayor valor registra 1748,2 mg/L, en el proceso de tratamiento con la especie se reduce la carga a 924,1 mg/L, finalmente se consigue una reducción a 200,3 mg/L lo que registra una eficiencia del 93,03%, resultado que muestra que el agua tratada para este parámetro se encuentra en buena condición, ya que las raíces de las plantas y la translocación de los contaminantes a dentro de ellas ya permitido mejorar la calidad de las mismas.

Finalmente, las aguas generadas por esta vivienda, presentan una generación de 280,2 mg/L de aceites y grasas, en el proceso de tratamiento disminuye a 110,1 mg/L, después del tratamiento como resultado final las aguas solo registran 23.1 mg/L de aceites y grasas, donde finalmente se acredita una eficiencia del 94,41 % en la reducción o fitorremediación de este agente toxico en dichas aguas.

Respecto a la *Vivienda 02*, la acumulación de DBO reporta según los análisis de laboratorio 1 037,5 mg/L, luego en el proceso se consigue eficientemente reducir a 618,5 mg/L, finalmente se consigue una reducción a 97 mg/L, lo que registra una eficiencia del 94,46%, resultado incluido dentro de los límites máximos permisibles, que explica que el agua tratada registra buenas condiciones de salubridad.

En lo que concierne al DQO, la *Vivienda 02*, registra 1 615,9 mg/L, en el proceso de tratamiento con la especie se reduce la carga a 857,9 mg/L, finalmente se consigue una reducción a 193,0 mg/L, lo que registra una eficiencia del 92,76 %, resultado que muestra que el agua tratada para este parámetro se encuentra en buena condición, estando dentro de los límites máximos permisibles.

Finalmente, en esta misma vivienda, se reporta una generación de 230,3 mg/L de aceites y grasas, en el proceso de tratamiento disminuye a 95,5 mg/L después del tratamiento como resultado final las aguas solo registran 17.8 mg/L de aceites y grasas, donde finalmente se acredita una eficiencia del 94,82 % en la reducción o fitorremediación de este agente toxico en dichas aguas residuales

Seguidamente los resultado de los análisis en la *Vivienda 03*, muestran el valor más bajo de acumulación de DBO respecto a las demás estaciones con 986 mg/L, luego en el proceso se consigue eficientemente reducir a 586 mg/L, finalmente se consigue una reducción a 93,2 mg/L, lo que registra una eficiencia del 94,44 %, resultado incluido dentro de los límites máximos permisibles, cabe resaltar comparativamente que la carga acumulada de DBO muestra una diferencia marcada entre viviendas, esto principalmente se debe que cada familia tiene diferentes hábitos alimenticios, por ende el tipo de residuos o concentración de sedimentos es diferente, por ejemplo una familia vegetariana no generara la misma contaminación que una familia que consume comida chatarra, frituras, o excesivo consumo de carnes. Patrón observado en todas las muestras y viviendas monitoreadas.

En lo que concierne al DQO, la *Vivienda 03*, registra 1 580,4 mg/L, en el proceso de tratamiento con la especie reduce la carga a 810.9 mg/L, finalmente se consigue una reducción a 188,7 mg /L lo que registra una eficiencia del 92,69 %, resultado que muestra que el agua tratada para este parámetro se encuentra en buena condición, estando dentro de los límites máximos permisibles.

Finalmente, en esta misma vivienda, se reporta una generación de 270,1 mg/L de aceites y grasas, en el proceso de tratamiento disminuye a 105,2 mg/L, después del tratamiento como resultado final las aguas solo registran 20,1 mg/L de aceites y grasas, donde finalmente se acredita una eficiencia del 94,91 % en la reducción o fitorremediación de este agente toxico en dichas aguas, registrándose óptimamente en el límite establecido para los LMP.

**Respecto al análisis y determinación de la eficiencia del proceso de fitorremediación en los parámetros físicos se reporta:**

La temperatura del lecho acuático artificial tratado se mantiene estable, en las tres viviendas muestreadas, con ligera variación entre 1.2 a 0.40 °C, resultado que explica una temperatura no alterada, respecto a la generación en la fuente.

Respecto al pH, se registra un pH neutro en todas las pozas muéstrales, variando ligeramente entre posas en un rango de 6.10-7.02, encontrándose los parámetros

admisibles para el desarrollo de cualquier vida acuática, que además varía ligeramente, entre muestras sin alterarse ni desnaturalizarse.

Seguidamente, en cuanto a los *Sólidos Totales en suspensión*, el valor más alto se registra en la *Vivienda 03*, con 715 mg/l en estado inicial finalmente se consigue una eficiencia altamente significativa respecto al estado inicial con 149 mg/l resultado que explica una eficiencia superior al 88,30 %, indicativo de que las aguas vertidas presentan un rango aceptable para ser vertidas a cuerpos de agua.

Seguidamente la *Vivienda 02*, es una de las más significativas también, con 650 mg/l en estado inicial, finalmente se consigue una eficiencia altamente significativa respecto al estado inicial con 140 mg/l, resultado que explica una eficiencia superior al 87,27 %, indicativo de que las aguas vertidas presentan un rango aceptable para ser vertidas a cuerpos de agua.

Finalmente, la *Vivienda 01*, presento el menor valor de STS en sus aguas vertidas, con 548 ml/l en estado inicial se registra una reducción de 248 ml/L finalmente se consigue una eficiencia altamente significativa respecto al estado inicial con 138 ml/L, resultado que explica una eficiencia superior al 86,00 %, indicativo de que las aguas vertidas presentan un rango aceptable para ser vertidas a cuerpos de agua. Según los resultados alcanzados estarían dentro de los LMP, respecto a las tres viviendas, esto certifica que las aguas tratadas pueden ser distribuidas a los fines convenientes.

En esta investigación se utilizó a la especie vegetal “*Eichornia crassipes*”, como descontaminadora de aguas domesticas (Fitorremediación), lo que estaría contribuyendo a la generación de nuevas oportunidades de aprovechamiento sostenible de los recursos sin la necesidad de hacer mega-infraestructuras que solo ocasionan la perdida de belleza paisajística y alteran el ecosistema, y en cumplimiento de los objetivos del ingeniero ambiental “Se está aportando con esta idea innovadora, que es amigable con el ecosistema, no genera inversiones inalcanzables, a lo contrario genera y ofrece una mejor calidad de vida en la población”.

En un estado inicial el agua recién salida de cada vivienda se apreció turbia y con bastante acumulación de sedimentos aceitosos, una vez pasado el filtro de “*Eichornia crassipes*”, se registra un agua clara y practicante utilizable, a simple vista sin aceites, grasas ni sedimentos. (Figura N° 2)



Registro (In-situ), aguas domesticas recién vertidas del uso en cada vivienda, muestra la presencia de acumulada de aceites y grasas.



Aguas tratadas por "*Eichornia crassipes*", color claro y sin aceites o grasas.

*Figura 2:* Muestra de agua antes y después de tratamiento.

Finalmente, el estudio para el tratamiento de aguas domesticas usando este sistema de plantas flotantes determino que el jacinto de agua es muy eficiente en el tratamiento de aguas domésticas, comparado con otros estudios usando especies florísticas de la familia "Heliconiaceae", usando un diseño de sistema similar, se logra demostrar que este lugar aplicado la especie usada por el equipo investigador es eficiente en un intervalo del 85 % a 95 % de acuerdo con los componentes físicos y químicos muestreados, y su capacidad de eliminación de DBO , DQO y SST, por encima del 85 % de remoción sin detrimento de sus propiedades fisiológicas.



*Figura 3:* Desarrollo evolutivo de especie en tres (03) estadios, antes durante, después y su capacidad de absorción de contaminantes físicos y químicos.

Seguidamente, en la (**Figura 03.**); se muestra el desarrollo evolutivo de la especie en tres estadios, a lo que hemos considerado etapa inicial; intermedio y final en el proceso de adecuación de la presente especie o aclimatación a este tipo de contaminantes en estado bruto o mejor dicho directamente, por otro lado cabe mencionar que en estas tres fases se realizó las observaciones de eficiencia de la especie, donde se determinó que en estado inicial, al momento de replante de la especie se ocasiono estrés a los especímenes cultivados pasando los diez días; seguidamente en etapa intermedia se registró que el 20 % de los especímenes presentaban problemas para adecuarse y desarrollar especialmente los que estaban más próximos al flujo de caída de las aguas residuales. (Figura N° 03)

### 3.1.3. Resultados de monitoreo de los parámetros físicos y químicos

**Tabla 2.***Monitoreo semanal de temperatura*

Semana de muestreo	Temperatura °C		
	POZA 01	POZA 02	POZA 03
1	27.5	25.2	25.2
2	28.4	26.4	27.3
3	27.8	27.2	28.3
4	28.8	28.4	29.2
5	28.6	27.2	28.9
6	29.5	30.4	30.8
7	30.2	31.1	31.9
8	30.8	31.5	32.1

**Tabla 3.***Monitoreo semanal de pH.*

Semana de muestreo	POZA N°01	POZA N°02	POZA N°03
1	6.59	6.12	6.4
2	6.26	6.18	6.14
3	6.1	6.1	6.11
4	6.53	6.35	6.39
5	6.74	6.78	6.7
6	6.63	6.87	6.75
7	6.86	6.85	6.92
8	6.99	6.93	7.02

**Tabla 4.***Monitoreo de solidos totales*

Fecha	Solidos totales ( mg/L)		
	POZA N°01	POZA N°02	POZA N°03
27/07/2017	548	650	715
04/09/2017	300	310	410
19/10/2017	138	140	149



**Tabla 5.**

*Resultado del primer, segundo y tercer análisis de DBO, DQO, aceites y grasas.*

	DBO (mg/L)			DQO (mg/L)			A&G (mg/L)		
	Pre.	Durante.	Post.	Pre.	Durante.	Post.	Pre.	Durante.	Post.
<b>POZA 01</b>	1235	767,5	100	1748,2	924,1	200,3	280,2	110,1	23,1
<b>POZA 02</b>	1037,5	618,5	97	1615,9	857,9	193	230,3	95,5	17,8
<b>POZA 03</b>	986	586,2	92,5	1580,4	810,9	188,7	270,1	105,3	20,1

### 3.1.4. Contrastación de la hipótesis.

Realizado el análisis de varianza tenemos.

**Tabla 6.**

*ANOVA para temperatura.*

Fuente de Variación	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	2	2,5725	1,2863	0,314	0,164
Error	21	85,9438	4,0925	-	-
Total	23	88,5163	-	-	-

Hipótesis:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_1 \neq H_0$$

Decisión:  $F=0.314$ , se capta  $H_1$  y rechazo  $H_0$

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

**Tabla 7.**

*ANOVA pH*

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	2	0,01691	0,008454	0,74	0,494
Error	21	0,15936	0,011383	-	-
Total	23	2,4044	-	-	-

Hipótesis:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_1 \neq H_0$$



Decisión:  $F = 0.74$ , se capta  $H_1$  y rechazo  $H_0$   
 Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$ .

**Tabla 8.**

*ANOVA sólidos totales*

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	2	1 4024	7 012	3,68	0,124
Error	6	7 617	1 904	-	-
Total	8	3 94674	-	-	-

Hipótesis:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_1 \neq H_0$

Decisión:  $F = 3.68$ , se capta  $H_1$  y rechazo  $H_0$

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

**Tabla 9.**

*ANOVA DQO<sub>5</sub>*

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	2	3 5735	1 7868	4,07	0,108
Error	6	1 7551	4 388	-	-
Total	8	1 531176	-	-	-

Hipótesis:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_1 \neq H_0$

Decisión:  $F = 4.07$ , se capta  $H_1$  y rechazo  $H_0$

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$ .

**Tabla 10:**

*ANOVA DQO.*

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	2	15 056	7 528	4,23	0,103
Error	6	7 122	1 780	-	-
Total	8	32 00527	-	-	-

Hipótesis:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_1 \neq H_0$

Decisión:  $F = 4.23$ , se capta  $H_1$  y rechazo  $H_0$

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

**Tabla 11.**

*Aceites y Grasas*

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Tratamientos	2	876,2	438,1	2,74	0,178
Error	6	640,7	160,2	-	-
Total	8	90504,9	-	-	-

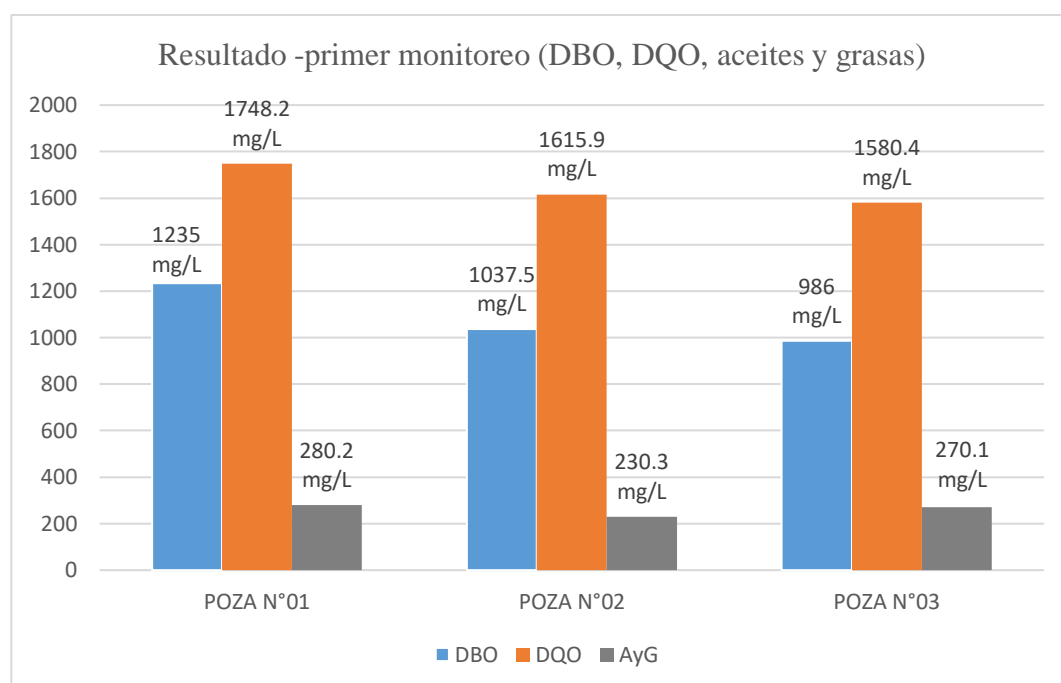
Hipótesis:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_1 \neq H_0$

Decisión:  $F = 2.74$ , se capta  $H_1$  y rechazo  $H_0$

Nivel de significancia:  $\alpha = 0.05$

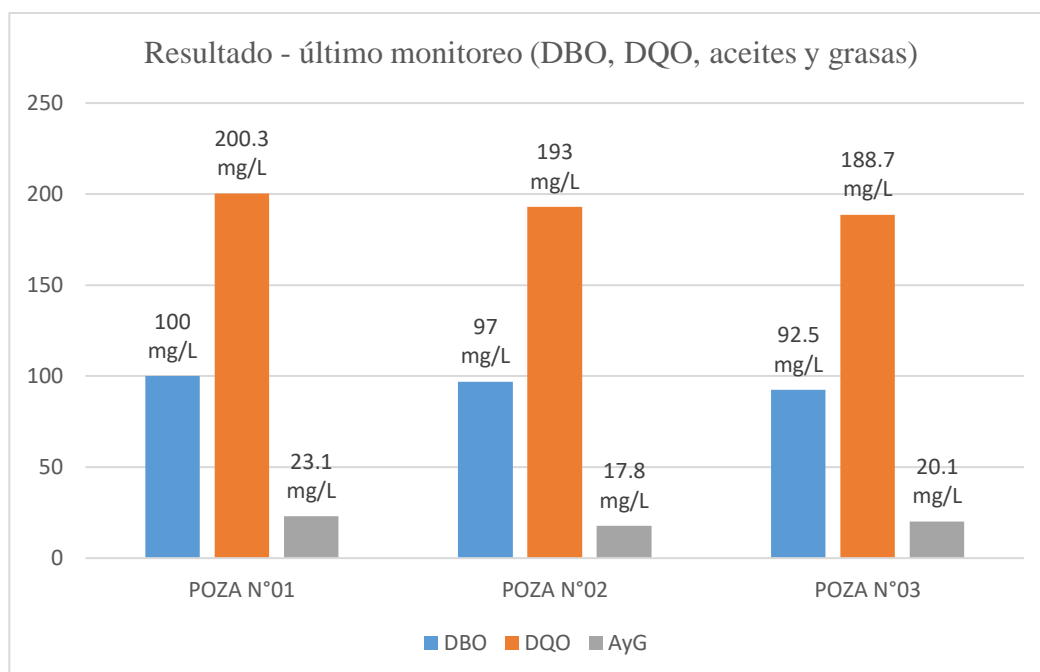


**Figura 4:** Variación del primer resultado DBO, DQO, aceites y grasas (poza 01, 02, 03)

### Interpretación:

El primer resultado del laboratorio nos indica que la poza N° 1 registra un índice más alto de contaminación (DBO, DQO, Aceites y Grasas) registrándose: 1235 mg/l DBO, 1748.2 mg/l DQO y 280 mg/l de aceites y grasas.

La poza que registro menor índice de contaminación con respecto al DBO, DQO fue la poza 03 registrando: 986mg/L DBO, 1580.4 mg/l DQO y la poza N° 02 registra menor índice de contaminación en aceites y grasas 230.3 mg/l.



*Figura 5:* Variación del ultimo resultado DBO, DQO, aceites y grasas (poza 01,02,03)

### **Interpretación:**

#### **Poza N° 1**

La poza N° 1 es la que registra el índice más alto de contaminación como se detalla a continuación:

DBO consigue una reducción a 100 ml O<sub>2</sub>/L lo que registra una eficiencia del 95,24 %, resultado incluido dentro de los límites máximos permisibles, lo que explica que el agua tratada registra buenas condiciones de salubridad.

DQO consigue una reducción a 200,3 ml O<sub>2</sub>/L lo que registra una eficiencia del 94,02 %, resultado que muestra que el agua tratada para este parámetro se encuentra en buena condición, ya que las raíces de las plantas y la translocación de los contaminantes a dentro de ellas ya permitido mejorar la calidad de las mismas.

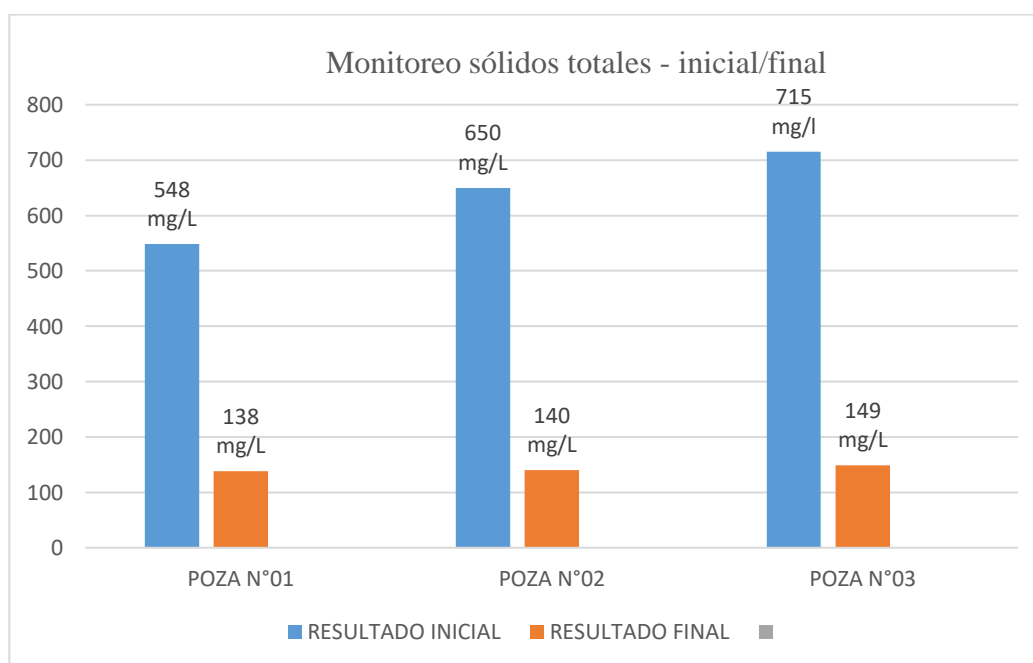
Aceites y grasas registran 23.1 mg/l, donde finalmente se acredita una eficiencia del 94,30 % en la reducción o fitorremediación de este agente toxico en dichas aguas.

**Poza N° 2.** El índice más bajo de contaminación con respecto a aceites y grasas se registra en la poza N° 2 como resultado final las aguas solo registran 17.8 ml/L de

aceites y grasas, donde finalmente se acredita una eficiencia del 92,5 % en la reducción o fitorremediación de este agente toxico en dichas aguas, registrándose optimate dentro de los limites.

**Poza N° 3. DBO** se consigue una reducción a 93,2 ml O<sub>2</sub>/L, lo que registra una eficiencia del 94,45 %, resultado incluido dentro de los límites máximos permisibles, cabe resaltar comparativamente que la carga acumulada de DBO muestra una diferencia marcada entre viviendas, esto principalmente se debe que cada familia tiene diferentes hábitos alimenticios, por ende el tipo de residuos o concentración de sedimentos es diferente, por ejemplo una familia vegetariana no generara la misma contaminación que una familia que consume comida chatarra, frituras, o excesivo consumo de carnes. Patrón observado en todas las muestras y viviendas monitoreadas.

**DQO** se consigue una reducción a 188,7 ml O<sub>2</sub>/L lo que registra una eficiencia del 92,65 %, resultado que muestra que el agua tratada para este parámetro se encuentra en buena condición, estando dentro de los límites máximos permisibles.



*Figura 6:* variación del primer y último resultado de solidos totales (poza 01,02,03)

Interpretación:

En el primer monitoreo la poza N°3 registra el índice más alto de sólidos totales con 715 mg/l y la más baja registra la poza N°01 con 548 mg/l.

En el tercer monitoreo después de aplicada la fitorremediación la poza N° 1 es la que presenta menor concentración registrándose 138 mg/l. dicho resultado es óptimo ya que cumple con las normas establecidas resultado que explica una eficiencia superior al 86,00 %, indicativo de que las aguas vertidas presentan un rango aceptable para ser vertidas a cuerpos de agua.

Según los resultados alcanzados estarían dentro de los LMP, respecto a las tres viviendas, esto certifica que las aguas tratadas pueden ser distribuidas a los fines convenientes.

### 3.2. Discusión de resultados.

La fitorremediación, conlleva a desarrollar una tecnología limpia y sin impactos al ambiente, además de ser amigable con el ecosistema, este proceso emplea a la vegetación para el tratamiento de la contaminación en el agua, suelo y aire. Respecto a los estanques artificiales de flujo superficial instalados en esta investigación, contribuyen principalmente a demostrar el potencial de hiperacumulación de sustancias tóxicas por la especie vegetativa utilizada, donde se demostró la transformación de dichos compuestos gracias a sus propiedades biológicas.

- ✓ La aplicación de un sistema de plantas flotantes, responde significativamente en el tratamiento de diversas contaminadas tal como lo menciona (Peña. 2013), que habiendo trabajado con *Heliconia psittacorum* en condiciones similares, la eficiencia de la especie vegetativa registra una capacidad de eliminación de DBO, DQO y STS, por encima del 70 % en el tratamiento de los parámetros físicos y químicos, respecto a este resultado la adopción de este mismo sistema y sujeto a modificación por parte del investigador resulta que la especie usada *Eichhornia crassipes*, presenta una capacidad de eliminación de DBO, DQO y SST, por encima del 85 % y 95 % en la remoción sin detrimento de sus propiedades fisiológicas. Donde para mayor resultado se requiere realizar observaciones más detenidas a cada parámetro y por tipo de contaminante. Cabe recalcar que la especie usada en nuestro medio resultó ser más eficiente en el tratamiento de aguas residuales domésticas.
- ✓ Respecto al DBO, se registra una carga altamente significativa, la especie, registra una eficiencia del 94.71 %, así mismo en cuanto a DQO, se registra elevada turbidez y alta acumulación de sólidos totales, finalmente la eficiencia de la especie registra el 92,83%, por otro lado, la generación de aceites y grasas registra alta concentración, donde finalmente se acredita una eficiencia del 94,72 % en la reducción o fitorremediación,

resultado que comparativamente con el estudio de (Wilkie, 2004). Reporta que la misma especie usada en este estudio y juntamente con ensayos de especies de la familia (Heliconiaceae), se alcanza reducciones de DBO en el orden de 95 %, y hasta 90,2 % para la DQO, en el caso de los STS se registran disminuciones con valores que se encuentran en el rango de 21 % y 91 %. Corroborando los resultados rescatados producto de esta investigación, se registra que la especie usada fue superior o similar a los resultados de otros estudios en condiciones ambientales de tratamiento diferentes.

## CONCLUSIONES.

- ✓ Se diseñó y aplicó el sistema de fitorremediación de las aguas residuales domésticas de cocina en la zona rural del caserío Santa Catalina como tecnología ambiental. Para posteriormente aplicar en otras zonas rurales.
- ✓ Entre las características más relevantes durante la presente investigación, es la capacidad de remover o eliminar los parámetros químicos: DBO<sub>5</sub> al 94.71%, DQO al 92.83%, aceites y grasas 94.72%. Respecto a la temperatura del lecho acuático se mantiene estable, el promedio de la temperatura registradas en las tres pozas es de 28.6°C la variación más significativa se muestra en la acumulación y reducción de sólidos totales, siendo el valor más alto por ejemplo en la “Posa 03” de 715 mg/L reduciéndose a 149 mg/L lo que explica que el 79,17 % de sólidos totales desaparecen en el proceso, patrón evaluado en las tres pozas. El pH, se registra un pH neutro en todas las pozas muestreadas, en un rango 6.10-7 encontrándose los parámetros admisibles para el desarrollo de cualquier vida acuática,
- ✓ *Eichhornia crassipes*, muestra que es una alternativa costo-efectiva ideal para este propósito, donde se cree sumamente necesario ampliar la evaluación del desempeño de especies nativas en diversas matrices como agua, aire y suelo y su respuesta para poder determinar la capacidad de tolerancia en el manejo no solo de aguas contaminadas sino de residuos sólidos domésticos y peligrosos.

## RECOMENDACIONES

- ✓ Desarrollar una planta de tratamiento, con tratamiento primario en las zonas rurales a base de Jacinto de agua ya que tiene alta remoción de DBO5, DQO como señala los estudios.
- ✓ Aprovechar los recursos naturales y que no tienen ningún costo para el bienestar y salud de la sociedad. *Eichornia* nos ofrece una alternativa de tratamiento de aguas residuales, y que sería una tecnología de bajo costo, razón por la que su uso debe ser difundido como un recurso para el saneamiento.
- ✓ Seguir investigando acerca de la importancia de nuestra flora y fauna existente en el medio, ya que esto comprueba una vez más, que la cura para los impactos o problemas medio ambientales lo tenemos en nuestro medio, más aun considerando que tenemos un fundo biodiverso “Pabloyacu”, que no está siendo estudiado en cuanto a la existencia de especies florísticas benéficas en el tratamiento de aguas residuales, ya que toda la selva alta se presenta especies de la familia “Heliconiaceae”, que han sido manipuladas científicamente en otros países y han dado resultados espectaculares.
- ✓ Difundir este tipo de estudios que pueden ser una buena oportunidad para la toma de decisiones políticas, en cuanto la carencia de recursos para desarrollar mega proyectos en zonas rurales y considerar que existen otras medidas como estas que pueden ser mucho más sustentables que ayuden a mejorar la calidad de vida de la población.
- ✓ Después del tratamiento de las aguas residuales domésticas y el resultado obtenido del análisis de laboratorio estas aguas serán reutilizadas en la agricultura (arroz, café, etc.) porque si cumplen con los límites máximos permisibles establecidos por el MINAM



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- APHA, AWWA, WPCF (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. 1ra edición en español. Ediciones Díaz de Santos, Madrid-España.*
- Arango, A. (2007). *Biosistema integral de tratamiento de aguas residuales domésticas. Diseño, construcción y evaluación. Tesis de maestría, Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Universidad de Manizales. Manizales – Colombia.*
- Ávila, J. y Castillo, D. (2000). Jacinto de agua (*Eichornia Crassipes*) alternativa para el tratamiento de agua dulce en producción acuícola, Guayaquil Ecuador.
- Bocanegra, F. (1999). *Bases Metodológicas de la investigación científica. Publiciencia UNT.*
- Castro, E. y María, L. (1987). *Parámetros físico-químicos que influyen en la calidad y en el tratamiento del agua. Lima.*
- CONAM. (2006). *Serie de Normas ambientales. Perú.*
- Coreal, R. (2006). *Tratamiento de aguas residuales, facultad de ciencias e ingeniería, centro de investigación para el desarrollo, CIPADE, Colombia.*
- Crites y Tchobanoglous. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones. – Colombia.*
- Cupe, E. y Portocarrero, C. (2009). Tesis “*Evaluación de la eficiencia de plantas acuáticas flotantes Lemna Minor (Lenteja de agua), Eichhornia Crassipes (Jacinto de agua) y Pistia Stratioides (Lechuga de agua), para el tratamiento de aguas residuales*” Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Ambiental. Lima.

- Daniel, W. (1995). *Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud*. México.
- Delgadillo, C. Pérez, A. (2010). *Proyecto de Agua programa alfa de la Unión Europea. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Universidad de San simón. Bolivia
- Espigares, M. y Pérez, L. (1985). *Aspectos sanitarios del estudio de las aguas*. Universidad de Granada. Servicio de publicaciones. Granada.
- Espinoza, R. (2010). *Planta de tratamiento de aguas residuales San Juan de Miraflores Tesis para optar el Grado de Master en Gestión y Auditorías Ambientales* Universidad Nacional de Piura. Piura
- FAO. (1993). *Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines. Informes sobre temas hídricos*. Santiago, Chile.
- Fernández (2007). *Macrófitas de interés en fitorremediación recuperado de*<http://fundamentaciónglobalnature.org/macrophytes>.
- Fernández, A. (2005). *Evaluación de la condición del agua para consumo humano en América Latina. Centro de Estudios Transdisciplinarios del agua*. Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Buenos Aires.
- García, E. (2009). *Habitantes del agua Macrófitas*. Editorial Margarita Martínez Acevedo.
- García, T. (2012). *tesis comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas*. UNI Lima-Perú.
- García, Z. (2012). *Tesis comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas*. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima Perú
- Giraldo, E. (1998). *Perspectiva de tratamiento anaerobio de las aguas residuales domésticas*. Colombia.
- Jaramillo, M. y Flores, É. (2012), *tesis fitorremediación mediante el uso de especies vegetales Lemna minor y Eichhornia Crassipes en aguas residuales producto de la actividad minera*. Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca

- Manga Certain, Molinares Amaya, Arrieta Pearson. (2007). Tratamiento de aguas residuales mediante sistemas de lagunaje. Primera edición Bogotá Colombia.
- Menéndez, V. y Juan, L. (2015) *Eichhornia crassipes* Asturnatura.com.
- Metcalf y Eddy. (1995) *Ingeniería de Aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. 3ª Edición. Editorial McGraw-Hill*. Madrid.
- Miller, R. (1996). *Procesos biológicos que afectan el destino de contaminantes y el transporte. Ciencia de la contaminación*. Nueva York.
- Monello, D. (2009). Proyecto de Investigación sobre “*Estudio sobre los resultados en la purificación de una laguna con macrofitas*”. Lima, Perú.
- Moscoso, J. y León, R. (1996). *Curso de tratamiento y uso de aguas residuales*. Lima, Perú.
- Paredes, J. (2015), tesis “*optimización de la fitorremediación de mercurio en humedales; flujo continuo empleando eichhornia Crassipes (jacinto de agua.)*” Universidad Agraria de la Selva.
- Peña, M. y Valencia, E. (1998). *Reusó en irrigación de aguas residuales domésticas tratadas: una alternativa sostenible para el manejo integral del recurso hídrico*.
- Pérttega, S. y Pita, S. (2001). *Representación gráfica en el análisis de datos*.
- Poma, Ll. y Víctor, R. (2014), tesis “*Estudio de los parámetros fisicoquímicos para la fitorremediación de cadmio (II) y mercurio (II) con la especie Eichhornia crassipes (Jacinto de agua)*” Universidad Nacional de Ingeniería.
- Pilon, S. (2005). *Phytoremediation. Annual review of Plant Biology*.
- Qlynn, h y Heinke, G. (1999). *Ingeniería Ambiental*. México
- Revista de la Sociedad Química del Perú (2014)
- Rites y Tchobanoglous. (2000). *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Editorial Nomos S.A. – Colombia*.
- Rivas, G. (1978). *Tratamiento de aguas residuales. 2ª ed. Ediciones Vega*. Caracas.
- Romero, J. (2005). *Tratamientos de aguas residuales, teoría y principios de diseño, escuela colombiana de ingeniería*. Colombia

- Torres, A. Sandra, M. (2009). Tesis. *Aprovechamiento de Eichornia Crassipes, del embalse de la rePre.sa Daniel Palacios como bisorbente de metales pesados en el tratamiento de aguas residuales.*
- Vargas, D. (2003). Tesis “*Mejoramiento y Ampliación de la Planta de Tratamiento del Pueblo Joven Julio C. Tello de Lurín*” Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Ambiental. Lima,
- Wilson, J. y Rees, M. (2005). *Determinantes y los patrones de crecimiento de la población en Jacinto de agua.* Aquat Bot.
- Peña, E. y Madera, J. y Sánchez, J. y Medina, V. (2013). *Bioprospección de plantas nativas para su uso en procesos de biorremediación: caso Heliconia psittacorum (heliconiaceae).*

## ANEXOS

### Anexo A: Ficha técnica de recolección de datos pH

TIEMPO DE MONITOREO (PH)						
SEMANAS	AGOSTO			SEPTIEMBRE		
	POZA 01	POZA 02	POZA 03	POZA 01	POZA 02	POZA 03
1	6.59	6.12	6..4	6.74	6.78	6.70
2	6.26	6.18	6.14	6.63	6.87	6.75
3	6.10	6.10	6.11	6.86	6.85	6.92
4	6.53	6.35	6.39	6.99	6.93	7.02

### Anexo B: Ficha técnica de recolección de datos temperatura

TIEMPO DE MONITOREO (TEMPERATURA)						
SEMANAS	AGOSTO			SEPTIEMBRE		
	POZA 01	POZA 02	POZA 03	POZA 01	POZA 02	POZA 03
1	27.5	25.2	25.2	28.6	27.2	28.9
2	28.4	26.4	27.3	29.5	30.4	30.8
3	27.8	27.2	28.3	30.2	31.1	31.9
4	28.8	28.4	29.2	30.8	31.5	32.1

**Anexo C: LMP para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas.**

**Fuente: D.S. N° 003 – 2010 – MINAM**

**Anexo D: Resultados de solidos totales EPS-Moyobamba.**

**Laboratorio de la EPS - Moyobamba**



---

**DATOS DEL CLIENTE**

Usuario : KELITH LILIANA PERALES VASQUEZ  
 DNI : 47440470  
 Provincia/Distrito/Caserío: Moyobamba – Moyobamba – Santa Catalina.  
 Correo electrónico. : [kperalesvasquez@gmail.com](mailto:kperalesvasquez@gmail.com)

---

**RESULTADOS**

PARAMETRO	RESULTADO PRE TRATAMIENTO (27/07/17)		
	POZA N°01	POZA N°02	POZA N°03
SOLIDOS TOTALES EN SUSPENSION	548	650	715
	RESULTADO DURANTE TRATAMIENTO (04/09/17)		
	300	310	410
	RESULTADO POST TRATAMIENTO (19/10/17)		
	138	140	140

  
**Ing. Qco. Samuel López Chavez**  
 JEFE DPTO. CONTROL DE CALIDAD

Laboratorio EPS – Moyobamba  
 Dirección: Calle San Lucas Cdra. 1, Mz. X. Urb. Vista Alegre - Moyobamba, San Martín - Perú.  
 E-mail: [eps@epsmoyobamba.com.pe](mailto:eps@epsmoyobamba.com.pe)

**Anexo E: Formatos físicos de resultado de laboratorio del agua Cajamarca.**


**Anexo 1E:** Resultado de laboratorio – Primer monitoreo (DBO<sub>5</sub>, DQO, Aceites y grasas)







## Anexo 2E: Resultado de laboratorio – Primer monitoreo (DBO<sub>5</sub>, DQO, Aceites y grasas)




# LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

## GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

### LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA

CON REGISTRO N° LE-084



INACAL  
DA-Perú  
Acreditado  
Registro N° LE-084

## INFORME DE ENSAYO N° IE 0717440

FISICOQUÍMICOS			
Código Cliente	Pozo Artificial N° 01	Pozo Artificial N° 02	Pozo Artificial N° 03
Código Laboratorio	0717440-01	0717440-02	0717440-03
Matriz de Agua	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL
Descripción	Doméstica	Doméstica	Doméstica
Localización de la Muestra	Caserío Santa Catalina	Caserío Santa Catalina	Caserío Santa Catalina
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
(*) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	2.6	1235.0
(*) Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	8.3	1748.2
(*) Aceites y Grasas	mg/L	2.5	280.2

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	SMWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210.B, 22 <sup>nd</sup> Ed. 2012. Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	SMWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220.D, 22 <sup>nd</sup> Ed. 2012. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method
Aceites y Grasas	mg/L	EPA Method 1664 Rev. B, 2010. n-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated n-Hexane Extractable Material (SGT-HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry

### OBSERVACIONES

LDM: Límite de detección del Método. LCM: Límite de cuantificación de los métodos. ECA: Estandar de calidad ambiental. VE: valor estimado.

Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.


(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA. NA: No aplica. ND: No determinado.

(\*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

### NOTAS FINALES

Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio.

- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2005.
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros.
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservarán en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, deberá ejercer en el plazo indicado.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.



Ing. Mariano de la Cruz Sarmiento  
Analista Responsable de Química  
CIP: 119544

Cajamarca, 23 de Noviembre de 2017.

Página: 2 de 2

Cód: RTJ-5.10-01 Fecha de Emisión: 06/06/2017 Rev: N°05

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO

JR. LUIS ALBERTO SANCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ

e-mail: laboratorio@regionalcajamarca.gob.pe / laboratorio@regionalcajamarca.gob.pe FONO: 599090 anexo 1140



## Anexo 3E: Resultado de laboratorio – Segundo monitoreo (DBO<sub>5</sub>, DQO Y Aceites y grasas)

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA			
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA			
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA			
CON REGISTRO N° LE-084			
INFORME DE ENSAYO N° IE 0918824			
<b>ENSAYOS</b>		<b>QUÍMICOS</b>	
Código Cliente	Pozo 01	Pozo 02	Pozo 03
Código Laboratorio	0918824-01	0918824-02	0918824-03
Matriz de Agua	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL
Descripción	Doméstica	Doméstica	Doméstica
Localización de la Muestra	Moyobamba	Moyobamba	Moyobamba
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	2.6	767.5
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	8.3	924.1
(*) Aceites y Grasas	mg/L	2.5	110.1
			618.5
			857.9
			810.9
			105.3
Ing. Mariano de la Cruz Samblente Analista Responsable de Química CIP: 119544			
Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 <sup>nd</sup> Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22 <sup>nd</sup> Ed. 2012: Chemical Oxygen Demand (COD), Closed Reflux, Colorimetric Method	
Aceites y Grasas	mg/L	EPA Method 1664 Rev. B. 2010: n-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated n-Hexane Extractable Material (SGT-HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry	
<b>OBSERVACIONES</b>			
LCM: Límite de cuantificación de los métodos, ECA: Estandar de calidad ambiental, VE: valor estimado			
Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.			
Los Resultados Microbiológicos <1.8, 1.0; significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecia crecimiento bacteriano en la muestra.			
(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado			
(**) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.			
Código del Formato: RT1-5.10-01 Rev: N°05 Fecha: 11/09/2017			
<b>NOTAS FINALES</b>			
✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.			
✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.			
✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.			
✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.			
✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.			
✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros.			
✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.			
✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservarán en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.			
✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.			
Cajamarca, 11 de septiembre de 2017.			
Página: 2 de 2			

**Anexo 4E:** Resultado de laboratorio – tercer monitoreo (DBO<sub>5</sub>, DQO Y Aceites y grasas)



FÍSICO		QUÍMICOS	
ANÁLISIS	ANÁLISIS	ANÁLISIS	ANÁLISIS
Código Cliente	1017721-01	1017721-02	1017721-03
Código Laboratorio	1017721-01	1017721-02	1017721-03
Matriz de Agua	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL
Descripción	Doméstica	Doméstica	Doméstica
Localización de la Muestra	Moyobamba	Moyobamba	Moyobamba

Parámetro	Unidad	LCM	Resultados			
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	2.6	100.0	97.0	92.5	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	8.3	200.3	193.0	188.7	
(*) Aceites y Grasas	mg/L	2.5	23.1	17.80	20.1	

Ing. Mariano de la Cruz Sarmiento  
Analista Responsable de Química  
CIP: 119544

	Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 <sup>nd</sup> Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22 <sup>nd</sup> Ed. 2012: Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method	
Aceites y Grasas	mg/L	EPA Method 1664 Rev. B, 2010: n-Hexane Extractable Material (HEM); Oil and Greasel and Silica Gel Treated n-Hexane Extractable Material (SGT+HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry.	

## OBSERVACIONES

LCM: Límite de cuantificación del método; ECA: Estandar de calidad ambiental; VE: valor estimado  
 Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.  
 Los Resultados Microbiológicos <1.8, 1.0; significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecia crecimiento bacteriano en la muestra.  
 (\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado  
 (\*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

## NOTAS FINALES

- ☒ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.  
☒ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.  
☒ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.  
☒ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.  
☒ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.  
☒ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros.  
☒ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.  
☒ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservarán en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.  
☒ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

**Cajamarca, 09 de Noviembre de 2017.**

Página: 3 de 3



**Anexo F: Panel fotográfico**

**Anexo 1F:** Visita In-situ, y determinación de la situación actual de las aguas residuales domesticas



Estancaciones de drenaje de aguas domésticas: impacto al ecosistema, flora y fauna perjudicada y generación de focos infecciosos o vectores.



**Anexo 2F:** Colecta de especímenes (Rio negro)





**Anexo 3F:** Instalación de las plantas fitorremediadora.







**Anexo 4F:** Toma de la primera, segunda y tercera muestra.

Proceso de toma de muestras, rotulado y acondicionamiento en caja couller para ser enviada a laboratorio.





**Proceso de toma de muestras, rotulado y acondicionamiento en caja cooler para ser enviada a laboratorio.**



**Anexo 5F:** Equipos de campos (Termómetro ambiental y Ph-metro)



### Anexo G: Plano de ubicación

